

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ

**SOLAKLI HAVZASININ UZAKTAN ALGILAMA (UA) VE COĞRAFİ
BİLGİ SİSTEMLERİ (CBS) KULLANILARAK HİDROLOJİK
MODELİNİN OLUŞTURULMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Sezel KARAYUSUFOĞLU**

Anabilim Dalı: İleri Teknolojiler Anabilim Dalı

**Programı: Uydu Haberleşmesi ve Uzaktan
Algılama**

OCAK 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ

**SOLAKLI HAVZASININ UZAKTAN ALGILAMA (UA) VE COĞRAFİ
BİLGİ SİSTEMLERİ (CBS) KULLANILARAK HİDROLOJİK
MODELİNİN OLUŞTURULMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Sezel KARAYUSUFOĞLU
(705071015)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 25 Aralık 2009
Tezin Savunulduğu Tarih: 29 Ocak 2010**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. H. Gonca COŞKUN (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Cankut ÖRMECİ (İTÜ)
Prof. Dr. Levent ŞAYLAN (İTÜ)**

OCAK 2010

Aileme,

ÖNSÖZ

İstanbul Teknik Üniversitesi Bilişim Enstitüsü Uydu Haberleşmesi ve Uzaktan Algılama programında gerçekleştirilen yüksek lisans çalışmasında Solaklı havzasının hidrolojik modeli, Uzaktan Algılama teknikleri ve CBS kullanılarak oluşturulmuştur.

Öncelikle çalışmamın her aşamasında bilgi ve tecrübeleri ile beni yönlendiren, benden hoşgörüsünü ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. H. Gonca COŞKUN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Yüksek lisans eğitim süreci içinde, 106M043 nolu proje kapsamında çalışmada kullanılan verilerin teminini sağlayan TÜBİTAK kurumuna, yardım ve desteğini esirgemeyen, bilgi ve deneyimleriyle yol gösteren proje yöneticisi Sayın Prof. Dr. Necati AĞIRALIOĞLU'na ve tüm proje araştırmacı ve çalışanlarına teşekkür ederim.

Bilgi ve birikimleriyle yol gösteren ve destek olan hocam, Sayın Prof. Dr. Levent ŞAYLAN'a teşekkürü borç bilirim.

Çalışmamda yardımları ve destekleriyle her daim yanımda olan değerli arkadaşlarım, Ar. Gör. Ebru ERİŞ ve Müh. İlker UYSAL'a teşekkür ederim.

Hayatımın her anında bilgi, birikim ve sevgileriyle bana yol gösteren, desteklerini hiçbir zaman esirgemedi her daim yanımda olan çok sevgili aileme teşekkürü borç bilirim.

Aralık 2009

Sezel KARAYUSUFOĞLU

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1 Amaç ve Kapsam	2
1.2 Materyal ve Yöntem.....	3
1.3 Literatür Araştırması	3
2. ÇALIŞMA ALANI ve VERİLER.....	7
2.1 Çalışma Alanı.....	7
2.1.1 Topografik ve jeomorfolojik özellikler	8
2.1.1.1 Eğim özellikleri.....	8
2.1.1.2 Bakı özellikleri	9
2.1.2 Bitki örtüsü.....	11
2.1.3 İklim.....	11
2.1.3.1 Yağış	13
2.1.3.2 Sıcaklık.....	14
2.1.3.3 Buharlaşma.....	14
2.2 Veriler	14
2.2.1 Meteorolojik veri.....	15
2.2.2 Akım verisi.....	15
2.2.3 Uydu ve yükseklik verisi.....	16
3. UYGULAMA.....	19
3.1 Arazi Çalışmaları	19
3.1.1 GPS ölçümleri	19
3.1.1.1 GPS ile istasyonların koordinatlarının ve yüksekliklerinin tespiti.....	22
3.1.2 Arazi sınıflarının belirlenmesi	23
3.2 Uzaktan Algılama Verilerinin İşlenmesi.....	25
3.2.1 Uydu görüntülerinin geometrik düzeltilmesi	25
3.2.2 Uydu görüntülerinin çakıştırılması	27
3.2.3 Uydu görüntülerinin sınıflandırılması.....	28
3.2.4 Sayısal yükseklik modelinin (SYM) Oluşturulması	32
3.3 Hidrolojik ve Hidrolik Modelleme Uygulaması	34
3.3.1 Havza parametrelerinin belirlenmesi	34
3.3.2 Eşyağış haritalarının oluşturulmasında kullanılan yöntemler	39
3.3.2.1 Ters mesafe yöntemi (Inverse distance weighted, IDW).....	40
3.3.2.2 Üs fonksiyonu	40
3.3.2.3 Lokal polinom interpolasyon yöntemi	41
3.3.2.4 Radyal temelli fonksiyon (Radial basis function, RBF) metodu	43

3.3.2.5 Kriging yöntemi	44
3.3.3 Eşyağış haritalarının çizilmesi	47
3.3.4 Su toplama havzalarının CBS ortamında tespiti	51
3.3.5 Su toplama havzalarına ait aylık yağış yüksekliklerinin tespiti	52
3.4 Regresyon Analizi ile Akımın Denklemlerinin Oluşturulması	53
3.5 Hidroelektrik Potansiyelin Tespiti	58
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	61
KAYNAKLAR.....	63
ÖZGEÇMİŞ	67

KISALTMALAR

AGİ	: Akım Gözlem İstasyonu
AWBM	: Australia Water Budget Method
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
DEM	: Digital Elevation Model
DMİ	: Devlet Meteoroloji İşleri
DSİ	: Devlet Su İşleri
EİEİ	: Elektrik
GCP	: Ground Control Point
GPS	: Global Positioning System
HES	: Hidroelektrik Santral
IDW	: Inverse Distance Weighted
IHS	: Intensity Hue Saturation
IRS	: Indian Remote Sensing
KÖHES	: Küçük Ölçekli Hidroelektrik Santral
OHKK	: Ortalama Hata Kareleri Kökü
RBF	: Radial Basis Function
RGB	: Red Green Blue
RPC	: Rasyonel Polinom Katsayıları
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
TIN	: Triangulated Irregular Network
TUTGA	: Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı
UA	: Uzaktan Algılama
UTM	: Universal Transverse Mercator
YĞİ	: Yağış Gözlem İstasyonu
WGS	: World Geodetic System

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1: Çalışmada veri alınan meteorolojik gözlem istasyonları, koordinatları ve yükseklikleri.	15
Çizelge 2.2: Çalışmada veri alınan akım gözlem istasyonları, yükseklik ve koordinatları	16
Çizelge 2.3: Çalışmada kullanılan uydu görüntülerine ait genel özellikler	17
Çizelge 2.4: Çalışmada kullanılan uydu görüntülerine ait genel özellikler	17
Çizelge 3.1: GPS sabit baz istasyonlarının koordinat ve yükseklikleri.	20
Çizelge 3.2: Ölçülen GPS noktalarının koordinat ve yükseklik bilgileri	22
Çizelge 3.3: AGİ ve Meteoroloji istasyonlarının koordinat ve yükseklikleri.....	23
Çizelge 3.4: Arazi kullanım sınıflarının hektar bazında alansal analizi.	31
Çizelge 3.5: Alt havzaların bir kısmına ait topografik parametreler.	38
Çizelge 3.6: Aylık ve yıllık değerler için eşyağış haritalarının oluşturulmasında hangi yöntemin uygun olduğunun gösterimi.	47
Çizelge 3.7: İstasyonların yerinde yapılan incelemeler sonucunda tespit edilen koordinat ve kot bilgileri	54
Çizelge 3.8: Akım denklemleri ve R^2 değeri.	55
Çizelge 3.9: Doğrusal ve logaritmik regresyon denklemleri ile tahmin edilen debi değerleri.....	56
Çizelge 3.10: Model sonucunda elde edilen akım değerlerine ait rölatif hatalar (Burada P(mm)yağış, A(km ²) alan, H(m) kot Q(m ³ /s) tahmin edilen akımı ifade etmektedir).	57
Çizelge 3.11: Muhtemel noktalara ait brüt hidroelektrik potansiyel parametreleri. ..	60

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1: Çalışma alanının konumu.....	7
Şekil 2.2: Solaklı havzası eğim haritası.....	9
Şekil 2.3: Solaklı havzası bakı haritası.....	10
Şekil 2.4: DMİ Trabzon Bölgesinde yer alan meteorolojik gözlem istasyonlarının gösterimi; kırmızı ile çevrelenen alan çalışma alanında yer alan gözlem istasyonlarını göstermektedir (Trabzon Valiliği, 2009).	12
Şekil 2.5: Trabzon iline ait yıllık toplam yağış trendi ve yıllık toplam yağıştaki değişimin grafiği (Trabzon Valiliği, 2009).	13
Şekil 2.6: Trabzon iline ait yıllık ortalama sıcaklık trendi ve yıllık ortalama sıcaklık anomaliasi (Trabzon Valiliği, 2009).	14
Şekil 3.1: Statik GPS ölçüm şeması.	19
Şekil 3.2: GPS ölçümünde kullanılan sabit istasyonlar ve ölçülen noktalar ile sabitlerden 8 km uzaklıktaki dairelere ek olarak Cartosat görüntülerinde yer kontrol noktası olarak ölçülen 9 nolu köprü yol kesişimi ve bu nokta için yerde yapılan GPS ölçümü.....	21
Şekil 3.3: GPS ile konumları tespit edilen istasyonlar (a) Akım Gözlem İstasyonu (b)Yağış İstasyonu.....	23
Şekil 3.4: Tespit edilen arazi sınıfları ve uydu görüntüsü üzerinde gösterimi.	24
Şekil 3.5: 2006 yılına ait geometrik düzeltmesi yapılmış görüntü.	26
Şekil 3.6: IHS dönüşüm metodunun şematik gösterimi.	27
Şekil 3.7: 2006 IRS P6 uydu verisinin sınıflandırılma işlemi basamakları.....	30
Şekil 3.8: 2006 tarihli IRS P6 verisinin kontrollü sınıflandırma işlemiyle oluşturulmuş sonuç görüntüsü.....	31
Şekil 3.9: Stereoskopik algılamının temel prensibi.	32
Şekil 3.10: Stereo görüntülerden oluşturulan SYM.....	33
Şekil 3.11: Hidrolojik ve hidrolik model uygulamasının akış şeması.....	34
Şekil 3.12: Solaklı havzasına ait (a) akış yönü haritası; (b) sentetik drenaj ağı; (c) muhtemel istasyon noktaları (d) istasyon noktalarına ait alt havzaların gösterimi.	36
Şekil 3.13: <i>Jeoistatistiksel Analistin</i> optimum üs fonksiyonunu nasıl hesapladığını göstermektedir (ESRI, 2008).	41
Şekil 3.14: Lokal Polinom İnterpolasyonu kullanılarak eğimli-düz-eğimli tipteki bir arazinin modellenmesi (ESRI, 2008).	42
Şekil 3.15: Lokal polinom interpolasyonu ile bilinmeyen değerlerin öngörülmesi (ESRI, 2008).	42
Şekil 3.16: Lokla Polinom İnterpolasyonu ile elde edilen sonuç yüzeyi örneği (ESRI, 2008).	43
Şekil 3.17: Örnek yükseklik verileri kullanılarak RBF yüzeylerinin elde edilmesi (ESRI, 2008).	44
Şekil 3.18: Eşyağış haritalarının çiziminde kullanılan yağış gözlem istasyonları (YGI), Kırmızıyla işaretlenmiş bölgedeki üçgenler akım	

modellemesinde kullanılan akım verilerinin alındığı AGİ'leri göstermektedir.	48
Şekil 3.19: Yıllık eşyağış haritasının ArcGIS ortamında <i>Geostatistical Wizard</i> modülü kullanılarak Ordinary Kriging yöntemiyle elde edilmesi; (a) Uygun jeostatistiksel metodun seçilmesi; (b) Seçilen jeostatistiksel metodun hangi tipinin veriye daha uyumlu olduğunun seçilmesi; (c) Tahmin edilecek değer için çevreden kaç gözlem verisinin alınmasının seçilmesi; (d) Kullanılan jeostatistiksel yöntemin tahmin ve gözlem arasındaki ilişkinin gösterilmesi; (e) Eşyağış eğrilerinin çizdirilmesi. .	49
Şekil 3.20: Su yılının ilk 6 ayına ait elde edilen tahmin sonuçları ve ölçüm değerlerinin çapraz doğrulama sonuçları.....	50
Şekil 3.21: Aylık ve yıllık eşyağış haritaları.....	51
Şekil 3.22: AGİ'lerin su toplama havzalarının CBS ortamında <i>Hydrologic Modelling</i> modülü kullanılarak tespiti; (a) Boşlukların doldurulması; (b) Akış yönünün haritası; (c) Akış birikmesi haritası; (d) Hydro modülüne özelliklerin girilmesi; (e) Su toplama havzalarının belirlenmesi.	52
Şekil 3.23: Haldizen AGİ'nin fiziksel parametrelerinin ArcGIS'te gösterilmesi.....	52
Şekil 3.24: Oluşturulan AGİ su toplama havzasının ağustos ayı eşyağış haritası kullanılarak ağustos ayı için ortalama yağış yüksekliğinin <i>Hydrologic Modelling</i> modülü kullanılarak hesaplanması ve gösterilmesi.	53
Şekil 3.25: Doğrusal ve logaritmik regresyon denklemleri sonucunda bulunan debi tahmin değerlerine ait saçılma diyagramları.	57
Şekil 3.26: Hidroelektrik potansiyelin hesaplandığı noktalar kırmızı daire içinde gösterilmiştir.	59

SOLAKLI HAVZASININ UZAKTAN ALGILAMA (UA) VE COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİ (CBS) KULLANILARAK HİDROLOJİK MODELİNİN OLUŞTURULMASI

ÖZET

Giderek artan nüfus, doğal kaynakların kirlenmesi ve tükenmesi, küresel iklim değişikliği etkileri, doğal afet kaynaklı yıkımlar, üzerinde yaşadığımız toprakları ve etrafını daha geniş çapta, seri ve maliyeti düşük olarak araştırma gereksinimini doğurmuştur. Uzaktan Algılama (UA) yöntemleri ve Coğrafi Bilgi Sistemleri'nin (CBS) bütünleşmiş çalışması ile yersel ölçümlere göre hızlı ve ekonomik çözümler ve bilgiler elde edilebilmektedir. Hidroloji ve su kaynakları araştırma ve çalışmalarında da son yıllarda UA yöntemleri ile sağlanan uydu görüntüleri ve CBS kullanılmaktadır.

Çalışma alanının yer aldığı Doğu Karadeniz gibi ulaşımın zor veya imkânsız olduğu dağlık alanlarda UA yöntemleri ve CBS kullanılarak hidrolojik modelleme yapılabilmektedir.

Akım ve yağış ölçümlerinin yetersiz olduğu, küçük havzalarda çeşitli jeostatistiksel yöntemler ile istasyonlardan elde edilen nokta ölçümlerinden eş yayış haritaları oluşturulup ortalama akışa geçen yağış miktarı tespit edilmektedir. Hidrolojik modellemede, oluşturulacak Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) ile arazinin topografik özellikleri tespit edilebilmektedir. Bununla birlikte, uydu verilerinin sınıflandırılması ile arazi kullanımının güncel durumu tespit edilebilmektedir. Tüm bu verilerin entegrasyonu ile CBS ortamında havzanın hidrolojik modellemesi gerçekleştirilmektedir.

Bu çalışmada Solaklı Havzası için 5.8 m geometrik çözünürlüklü IRS P6 multispektral uydu verisi arazi kullanımının belirlenmesinde, stereo çekim yapan 2.5 m geometrik çözünürlü IRS P5 uydu verisi ise, SYM oluşturulması amacıyla kullanılmıştır. Uydu verileri kullanılarak elde edilen SYM, jeostatistiksel yöntemlerle oluşturulan eşyağış haritaları ve çoklu regresyonla elde edilen akım değerleri bütünleşik olarak CBS ortamında analiz edilerek havzanın matematiksel akım modeli oluşturularak bazı noktalardaki hidroelektrik potansiyel tespit edilmiştir.

HYDROLOGICAL MODELLING OF SOLAKLI BASIN USING REMOTE SENSING (RS) AND GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS (GIS)

SUMMARY

According to the increasing population, pollution of the natural resources, global climate changing effects, distractions due to disasters make it indispensable to explore and research the Earth faster and cheaper. In comparison to conventional methods, integration of Remote Sensing (RS) and Geographical Information Systems (GIS) offer faster and economical solutions. Recently, for the hydrology and water resource studies and researches, RS and GIS are being used.

Eastern Black Sea region, where the study area is located, is a mountainous area. Those types of places are hard or impossible to reach to acquire data by terrestrial measurement. However, by using integration of RS and GIS even those kinds of basins can be hydrological modeled.

In small and poorly gauged basins by using different kinds of geostatistical methods isohyetal maps can be generated. By Digital Elevation Model (DEM), topographic features of the area can be obtained. Besides, by applying image classification to multispectral satellite data, current land use can be determined. Integrating all these data, basin area can be hydrological modeled assisted by GIS.

In this study, for the classification of the study area IRS P6 multispectral satellite data with 5.8 m spatial resolution are used and to derive the DEM, IRS P5 stereo satellite data with 2.5 m spatial resolution are used. Using DEM, which is generated from satellite data and flow data, the basins flow characteristics are mathematically modeled and at some points hydroelectric potential is determined in GIS media.

1. GİRİŞ

Günümüzde büyük bir hızla ilerleyen teknoloji günlük yaşamda insanların enerji ihtiyacında da önemli bir artışa neden olmaktadır. Gelişmiş ülkelerde bu ihtiyaç çok yüksek miktarlara varırken, gelişmekte olan ülkelerde de günden güne artmaktadır. Türkiye gibi gelişmekte olan bir ülkede enerji üretiminin dış kaynaklardan bağımsız, sürdürülebilir ve milli doğal kaynaklardan elde edilmesi büyük önem taşımaktadır. Hammaddeden bağımsız, yenilenebilir özellikteki doğal kaynaklardan (su, rüzgâr, güneş vb.) yararlanmak bu manada giderek önem kazanmaktadır.

Coğrafi anlamda genel olarak engebeli araziye sahip, akarsuların düşüm yüksekliklerinin büyük, dolayısıyla hidroelektrik potansiyellerinin yüksek olduğu Türkiye’de hidroelektrik potansiyelin tespiti büyük önem taşımaktadır.

Yeryüzü hakkında büyük ölçekte, hızlı ve ekonomik bir şekilde bilgi edinebilmek giderek büyük bir önem kazanmıştır. Son yıllarda hidroloji ve su kaynakları araştırma ve çalışmaları Uzaktan Algılama (UA) yöntemleri ve Coğrafi Bilgi Sistemleri’nin (CBS) ortak kullanımı ile daha pratik hale gelmiştir.

Devlet Su İşleri (DSİ) 2009 yılı sonu verilerine göre Türkiye’nin teknik ve ekonomik hidroelektrik potansiyeli yaklaşık 130 GWh olarak belirlenmiştir. Bu değer hesaplanmasında, işletmede, inşaat halinde olan santrallerle birlikte, kesin projesi, planlaması, master planı ve ilk etüdü hazır olanlar dikkate alınmış; planlaması yapılmayan ve projesi ele alınmayan muhtemel santrallerin potansiyeli ile küçük hidroelektrik santrallerin potansiyeli değerlendirmeye katılmamıştır. Hesaplanan bu toplam potansiyelin 45.8 GWh’i işletmededir. Bu ise yaklaşık olarak %35’tir.

Bununla birlikte ülkenin toplam teorik potansiyeli 433 GWh olarak tahmin edilmektedir. Bu da göstermektedir ki Türkiye’deki toplam kullanılabilir potansiyelin 2009 yılında henüz % 35’i değil, daha küçük bir yüzdesinin kullanılmaktadır.

Türkiye’de DSİ ve Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ) genel müdürlükleri tarafından 3000’e yakın gözlem istasyonunda akarsu akım (debi) ölçümleri yapılmasına rağmen pek çok akarsu ve kollarında akım ölçümü yapılmamaktadır. Bazı akarsu ve kollarına

ulaşım bile mümkün olmamakla birlikte çoğu yüksek kesimlerde olduğu için kış mevsiminde uzun bir süre kar altında kalmaktadır. Hlbuki bu akarsuların hidroelektrik potansiyellerinin belirlenebilmesi için uzun yıllar ölçülmüş akım verisine ihtiyaç vardır. Bu yüzden ölçümü olmayan akarsuların hidroelektrik potansiyeli belirlenememekte ve projelendirilememektedir.

Akım lm olmayan veya çok az olan havzaların ve alt havzaların bu potansiyelini ortaya çıkarmak için debileri ve düşüm yükseklikleri, yanı sıra debilerin belirlenmesi için oluşturulacak modellerde havza ve alt havzalara ait, alan, evre, eğim, minimum, maksimum ve ortalama yükseklik ve arazi kullanım durumu gibi parametrelerin bilinmesine ihtiyaç vardır.

Uydu görüntüleri, sürekli algılama yapma özellikleriyle, geniş ve ulaşılması zor alanların izlenmesinde oldukça önemli bir kaynaktır. Bununla birlikte CBS, yersel ve nitelik verilerinin katmanlar halinde birlikte analiz edilmesinde önemli ve vazgeçilemez bir çalışma alanı yaratmıştır.

Bu alışmada, UA yöntemleri ve CBS'nin entegrasyonu ile akım ölçümü az olan Doğu Karadeniz'de yer alan Solaklı havzasının hidrolojik modeli oluşturulmuş ve bazı noktalardaki hidroelektrik potansiyeli tespit edilmiştir.

1.1 Amaç ve Kapsam

Bu çalışmada amaç, Doğu Karadeniz gibi yüksek eğimli, yoğun orman ve bitki türleri içeren havzalarda akım ölçümleri, meteorolojik ölçümler, yüksek znrlkl uydu verisi ile elde edilecek sayısal yükseklik modeli ve yine uydu görüntüsünün uzaktan algılama yöntemleri ile sınıflandırılmasıyla tespit edilecek arazi kullanım parametreleri kullanılarak havzaya ait hidrolojik modelin oluşturulmasıdır.

Çalışılacak olan Solaklı havzasında, bahsedilen veriler kullanılarak arazinin hidroelektrik potansiyel hesabında kullanılacak modeli oluşturmak amaçlanmıştır.

Çalışma havzanın akım modelinin oluşturulmasında kullanılmak üzere, bölgenin ortalama alansal yağış miktarları belirlenecek, bu veri, havzaya ait ortalama, maksimum ve minimum yükseklikler ve alan değerleri CBS ortamında elde edilecektir. Bölgeye ait uydu verisine görüntü işleme ve yorumlama teknikleri uygulanarak arazi kullanım parametreleri ve arazinin topografik özellikleri elde

edilecektir. Bu verilerin analizi sonucunda havzanın hidrolojik modeli elde edilerek bu modelden hidroelektrik potansiyel tespiti yapılacaktır.

1.2 Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ) ve DSİ'den alınan meteorolojik veriler, DSİ'den alınan akım verileri ve TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu) projesi kapsamında temin edilen uydu verileri kullanılmıştır. Meteorolojik veriler eş yağış eğrilerinin oluşturulmasında kullanılmıştır. CBS ortamında çeşitli jeostatistiksel yöntemler uygulanarak aylık ve yıllık yağış yükseklikleri elde edilmiştir. Uydu verilerine, UA yöntemlerinden, geometrik düzeltme, görüntü zenginleştirme ve sınıflandırma işlemleri uygulanarak arazi kullanım bilgisi elde edilmiştir. Yüksek çözünürlüklü uydu verisinden SYM elde edilerek CBS ortamında arazinin modellenmesi yapılmıştır. Çalışmada kullanılacak havzalar ve bu havzalara ait alan, yükseklik vb. parametreler çıkarılmıştır. Oluşturulan eşyağış eğrileri ile havza parametreleri ve akım verileri arasındaki ilişki çoklu regresyon denklemleri ile kurularak akım modellenmiştir ve belli noktalara ait hidroelektrik potansiyel değerleri su gücü denklemiyle tespit edilmiştir.

1.3 Literatür Araştırması

Kumar ve Singhal (1999), akım ölçümleri belli olmayan küçük havzalarda hidroelektrik potansiyelin belirlenmesinde oluşturulacak SYM ile arazinin yükseklik, eğim, bakı verilerinin elde edilebileceğini ve bu veriler yardımı ile havza sınırları ve drenaj ağları gibi verilerin oluşturulabileceğini, bu bilgilerin uydu verileri ile birleştirilerek, CBS yazılımları ile modellenmesi ve yağış, sıcaklık verilerinin entegrasyonu ile potansiyelin hesaplanabileceğini belirtmiştir.

Mwakalila (2003), Tanzania'da yılında yaptığı çalışmada öncelikle mevcut gözlemler yardımıyla veri-tabanlı mekanik hidroloji modeline ait parametreleri hesaplamış ve 19 havza üzerinde kalibre etmiştir. Diğer yandan harita ve sayısal yükseklik modellerinden, topografya, jeoloji, zemin, iklim ve arazi kullanımını temsil eden fiziksel havza karakteristikleri elde edilmiştir. Bu karakteristikler yardımıyla modele ait hidrolojik parametreler çoklu regresyon kullanılarak tahmin edilmiştir. Kalibrasyon sonucu elde edilen parametre değerleri ile tahmin

değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür. Çalışmada ölçüm olmayan havzalarda yalnızca fiziksel havza karakteristikleri kullanılarak akım tahmini yapılabileceği şeklinde bir sonuca ulaşılmıştır.

Shrestha ve diğ. (2004), Nepal’de 1233 km²’lik alana sahip, ölçüm bakımından zayıf dağlık bir bölgedeki Indrawati havzasını kullanmıştır. Topografik veriler (akarsu şebekesi, havza sınırı, havza alanı, eğim, vb.) ile arazi kullanımı ve karakteristikleri, bitki örtüsü CBS ve UA teknikleri kullanılarak belirlenmiştir. Çalışmada akım belirlemede kavramsal toplu (ortalanmış) bir hidrolojik model kullanılmıştır.

Shiqiang ve diğ. (2005) SYM kullanarak, yükseklik, eğim, bakı gibi parametreleri hesaplamış, bu verilerden ortalama, medyan, minimum ve maksimum değerleri istatistiksel metodlarla elde ederek topografik indeks oluşturmuşlardır. Sonraki aşamada bu verileri, Landsat 7 ETM uydu verilerinden elde edilen arazi kullanım haritalarını ve uzun yıllara bağlı yağış gözlem değerlerini birlikte analiz ederek havzaya ait akım bilgisine bir yaklaşımda bulunmuşlardır.

Dudhani ve diğ.(2006) özellikle ulaşımın çok zor veya imkansız olduğu dağlık alanlarda uzaktan algılama yöntemlerinden yararlanarak hidroelektrik santral (HES) ve baraj yapımı için uygun bölgelerin seçilmesi ve tanımlanmasında uydu verilerinden yararlanmışlardır.

Cheng ve diğ. (2006) ölçüm olmayan bir havzadaki akımı ölçümü olan havza akımı ve bölge yağışına bağlı regresyon denklemi ile vermiştir. Modelde ortaya çıkan parametreler CBS ve UA teknolojisi kullanılarak belirlenen havza jeolojisi, havza sayısal yükseklik modeli, Landsat TM görüntüleri, akım gözlem istasyonundan sağlanan akım verisi ile hava tahmin istasyonlarından alınan yağış ve sıcaklık verilerine bağlı olarak hesaplanmıştır.

Paish (2002), dünyadaki elektrik gereksiniminin yaklaşık olarak %19’unu karşılayan yenilenebilir kaynaklarından biri olan HES içinde küçük ölçekli hidroelektrik santraller (KÖHES) önemli bir yere sahip olduğunu belirtmiştir.

Gücü 100 MW’tan büyük santraller büyük ölçekli, 10(15)-100 MW arası orta ölçekli hidroelektrik santral olarak kabul edilebilir. KÖHES’ler için ise uluslararası bir sınırlama bulunmamakla birlikte alt ve üst sınırlar 2,5 MW ile 25 MW arasında değişmektedir. Dünya çapında kabul görmüş üst sınır 10 MW olmasına karşılık Çin Halk Cumhuriyeti’nde bu sınır 25 MW olarak kabul edilmiştir. Genel olarak

KÖHES'lerde 2 MW'ın altındaki güçler mini-hidro, 500 kW'ın altındaki güçler mikro-hidro ve 10 kW altındaki güçler ise piko-hidro olarak sınıflandırılmaktadır (Aslan ve diğ., 2004).

KÖHES'ler genellikle akarsu santralleri şeklinde inşa edilir, baraj yerine sadece türbine giden cebri borunun akarsuya bağlandığı noktada su yüksekliğini düzenleyen bir mekanizma bulunmaktadır. Dolayısıyla KÖHES'ler, büyük ölçekli HES'lerin oluşturduğu, yerleşim birimleri ve tarihi eserlerin su altında kalması, çevreyle ilgili yapının bozulması gibi olumsuz çevre etkilerine yol açmamaktadır.

Günümüze kadar gelişerek gelen havza modellerindeki gelişme CBS teknolojisinin ortaya çıkması ile doruğa ulaşmıştır. Bu teknoloji modellemeye meteorolojik veri girdilerinin, zemin ve arazi kullanım parametrelerinin, başlangıç ve sınır koşullarının zamansal ve konumsal dağılımının belirlenmesinde ve baraj, göl, akarsu gibi su biriktirme alanlarının, kar ve buz örtüsü miktarının bulunmasında çok büyük yararlar sağlamıştır (Engman ve Gurney, 1991).

Vandewiele ve Elias (1995), Belçika'da 75 havza üzerinde çalışarak, bu havzalara ait parametreleri 'kriging' yöntemi ve 'komşu havzalara ait parametreleri kullanarak hesaplamışlardır.

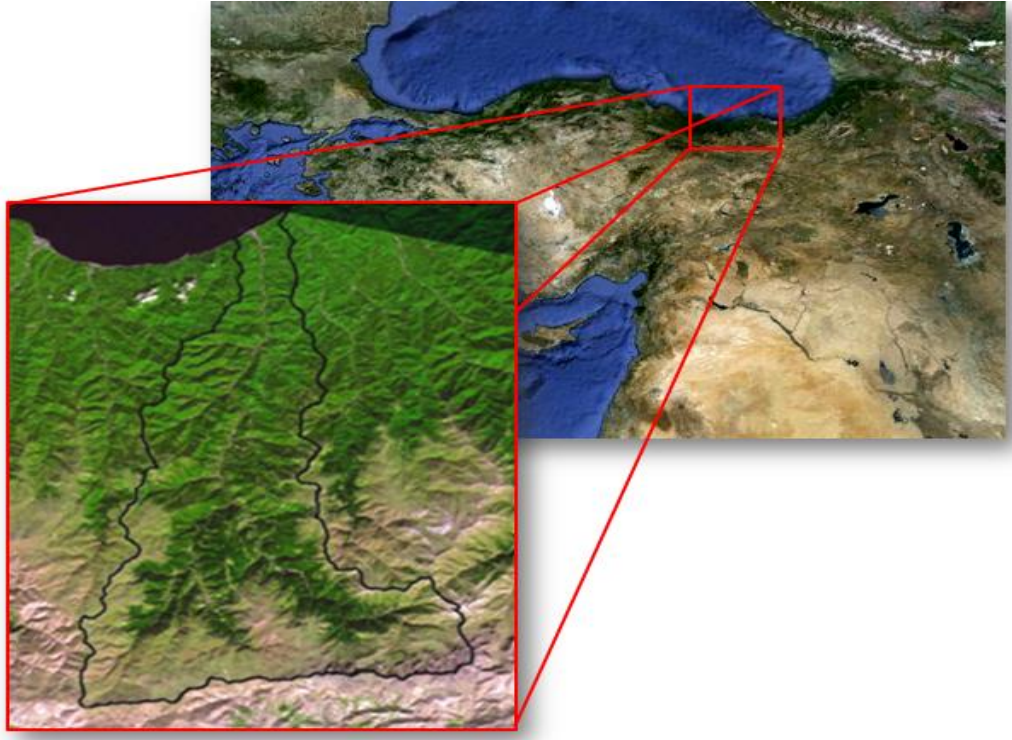
Boughton ve Chiew (2007), Avustralya'da bulunan 213 adet havzayı; 6 bölgeye bölerek ve farklı yağış aralıkları için regresyon denklemlerini kullanarak modellemişlerdir. Yağış ve potansiyel evopatranspirasyon verileri yardımıyla çoklu regresyon denklemlerinden hesaplanan ortalama yıllık akım değerleri ile AWBM (Australia Water Budget Method; Avustralya Su Bütçesi Yöntemi) kullanılarak ölçüm olmayan havzalarda günlük, aylık ve yıllık toplam akımlar tahmin edilmiştir.

2. ÇALIŞMA ALANI ve VERİLER

2.1 Çalışma Alanı

Çalışma alanı olan Solaklı havzası (Şekil 2.1), 4.685 km² 'lik yüzölçümüne sahip, ülke topraklarının % 0,6'sını oluşturan Trabzon il sınırları içinde yer almaktadır. Doğu Anadolu'nun kuzeydoğusunda, 41° kuzey enleminde ve 39° 43' doğu boylamında bulunur. Trabzon ilini doğuda Rize, batıda Giresun, güneydoğuda Bayburt, güneyde Gümüşhane, kuzeyde Karadeniz sınırlar. %10'u düzlük olan il topraklarının %30'u dağlık, %60'ı kıydan içeriye doğru gittikçe yükselen ve eğimi ortalama 25-30 m arası değişen genellikle engebeli özellikte bir alandır.

2008 yılı Adrese Dayalı Nüfus Sayımı sonuçlarına göre Trabzon 81 il içinde toplam nüfus itibariyle 27'inci sırada yer almakta ve Türkiye nüfusunun %1,05'ini teşkil etmektedir.



Şekil 2.1: Çalışma alanının konumu

2.1.1 Topografik ve jeomorfolojik özellikler

Çalışma alanı olan Solaklı havzası, Türkiye'nin kuzeyinde, Doğu Karadeniz Bölgesi Trabzon il sınırları içerisinde yer almaktadır.

Trabzon'un büyük bir kısmında akarsuların oluşturduğu vadiler özellikle ikinci dereceden kolların ve onlara karışan yan derelerin bulundukları kısımlarda oldukça dardır. Vadilerin derinlemesine aşınmasında bölgenin nemli iklim karakteri, havzaların hızlı akışlı olması ve fazla yük taşımaları temel etkenlerdir. Trabzon valiliği resmi sitesinde verilen bilgiye göre, aşınmaya karşı dayanıksız olan tüf, aglomera ve kalkerli yapılarda, derine aşındırma hızlanarak bir taraftan konsekant kollar gelişirken dik "V" şekilli vadiler oluşmuş, diğer taraftan da bu vadilerin yamaçlarında meydana gelen tali kollar arttırdıkları aşındırma faaliyetleri ile yamaçları iyice parçalamıştır. Böylece bölgede dantritik (ağaç dalları şeklindeki akarsu ağı) yapıdaki drenaj ağı sistemi meydana gelmiştir.

Vadiler bakımından incelendiğinde Trabzon ilindeki en gelişmiş vadiler, batıda güney-kuzey doğrultusunda uzanan Foldere Vadisi, Değirmendere akarsuyunun kurulu olduğu güneybatı-kuzeydoğu doğrultusunda Karadere Vadisi ve doğudaki güney-kuzey doğrultusunda uzanmış olan Solaklı Deresi vadisidir.

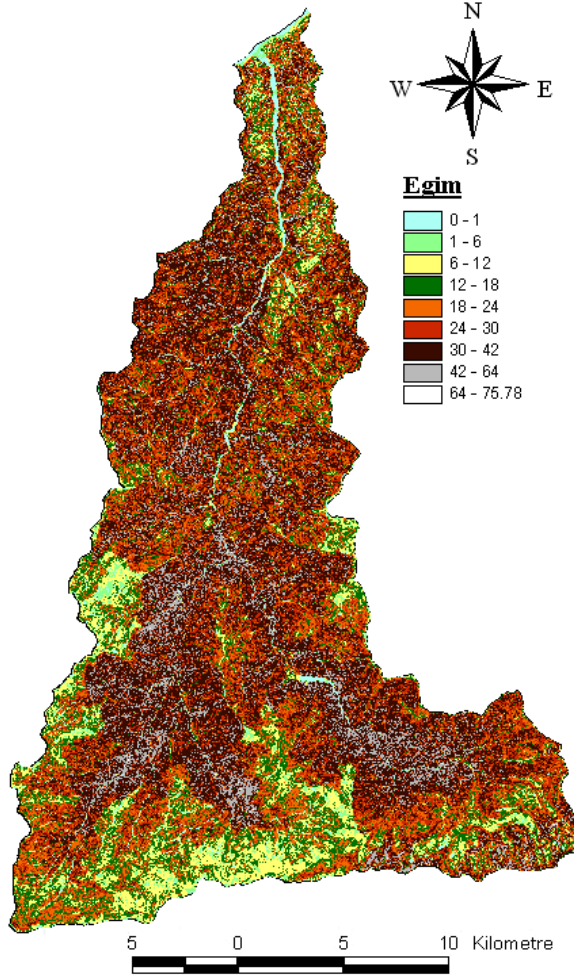
Proje çalışma alanı olan Solaklı havzasının güney kesiminde doğu-batı doğrultusunda Haldizen ve Soğanlı dağları yer almaktadır. Doğal sınır teşkil eden bu dağların yer yer 3000m yi aşan rakıma sahiptir. 3376 m rakım ile güneydoğudaki Haldizen dağında yer alan Demirkapı Tepesi havzanın en yüksek noktasıdır. Solaklı havzası üç farklı ilçedeki topraklardan meydana gelir. Bunlar Kuzeyden başlayarak Of, Dernekpazarı ve Çaykara'dır. Bunların içinde güneydeki Çaykara en genişidir. Solaklı Çayı, havza sularını toplayan başlıca akarsudur.

2.1.1.1 Eğim özellikleri

Havzanın jeomorfolojik özelliklerinden biri olan eğim akışın oluşmasında önemli bir etkiye sahiptir. Sızma miktarı havzanın eğim özelliğiyle yakından ilgilidir; toprağın su tutma kapasitesinin aynı olduğu varsayıldığında, eğimin fazla olduğu bölgelerde sızma miktarı, eğimin az olduğu bölgelere oranla daha az oranda gerçekleşir. Dolayısıyla eğimin fazla olduğu yerlerde akışa geçen su miktarı daha fazla, eğimin az olduğu yerlerde ise daha düşük değerlerde gerçekleşir. Akışa geçen yağışı

etkileyen bir diğerk faktör ise bitki örtüsüdür. Bitki örtüsünün az olduğu yerlerde akarsuyun taşıdığı sediment miktarı daha fazladır.

Solaklı havzasının eğim özellikleri SYM kullanılarak CBS ortamında görsel hale getirilmiş ve havza genelinin 18-30 derecelik eğim aralığında olduğu gözlenmiştir (Şekil 2.2).



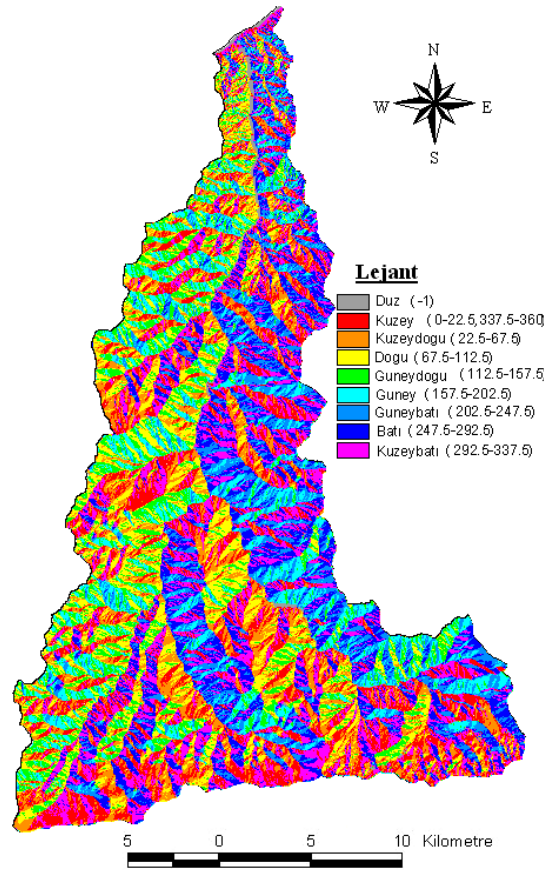
Şekil 2.2: Solaklı havzası eğim haritası.

2.1.1.2 Bakı özellikleri

Güneşten gelen kısa dalgaboylu radyasyonun yere gelme açısı, yamaç eğimine ve bakı durumuna (Güneş'e dönüklüğe) göre değişir. Bu durum ise yerel ısınma farklarına yol açar. Kuzey Yarı Küre'de güney yamaçlar, güneş ışınlarını yıl boyunca daha büyük açı ile aldığından daha sıcak olur. Konum itibariyle Türkiye kuzey yarımküre bakı özelliklerini taşır. Topografyanın genel olarak kuzeye bakan yamaçları, güneye bakan yamaçlara oranla daha az güneş radyasyonuna maruz kalır.

Bununla birlikte, doğuya bakan yamaçlar sabah saatlerinde, batıya bakan yamaçlar ise akşam saatlerinde daha fazla güneş alırlar.

Kuzey ve güney yamaçlarında bakı, topografyanın jeomorfolojisi üzerinde farklılık gösterir. Güneye bakan yamaçlarda, güneşlenme süresi daha uzun, bitkinin su tüketimi ve buharlaşma ile birlikte toplam su kaybı olan evapotranspirasyon oranı daha fazladır, yani bu alanlardaki bitki örtüsü daha seyrek olup, kuraklığa dayanıklı türlerden oluşur. Kuzeye bakan yamaçlarda ise topraktaki nem, yağıştan sonra uzun bir süre muhafaza edilir. Bu alanlardaki bitki örtüsü ise hem daha fazla gelişir hem de toprak oluşumunu sağlar ve yüzeysel akışı azaltıcı etki oluşturur. Yapılan çalışmada, CBS ortamında havzanın sayısal arazi modelinden 8 farklı yön ve düz alanlardan oluşan bakı haritası üretilmiştir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3: Solaklı havzası bakı haritası.

2.1.2 Bitki örtüsü

Çevresinde yer alan komşu iller gibi zengin doğal bitki örtüsüne sahip olan Trabzon ili Doğu Karadeniz sıradağlarına bağlı kıyı dağlarının yüksek kesimlerinden Karadeniz kıyısına kadar uzanır. Bu dağların kuzey kesimleri yoğun yağış alır ve kızılâğaç, gürgen, kestane, kayın, köknar ve ladinden oluşan sık bir orman örtüsü ile kaplıdır. İlin güneydoğusunda yer alan Haldizen Dağı'nın Güney yamaçlarında ise sarıçam ormanları vardır. Ormanın üst sınırının geçtiği 2000-2100 m yükseklikten sonra çayırlarla kaplı yaylalar yer alır. Trabzon il topraklarının % 38'i olan 176 055 ha'lık ormanlık alan olup, il arazisinin %24'ü olan 111 628 ha'lık alan ise; çayır ve mera ile kaplıdır.

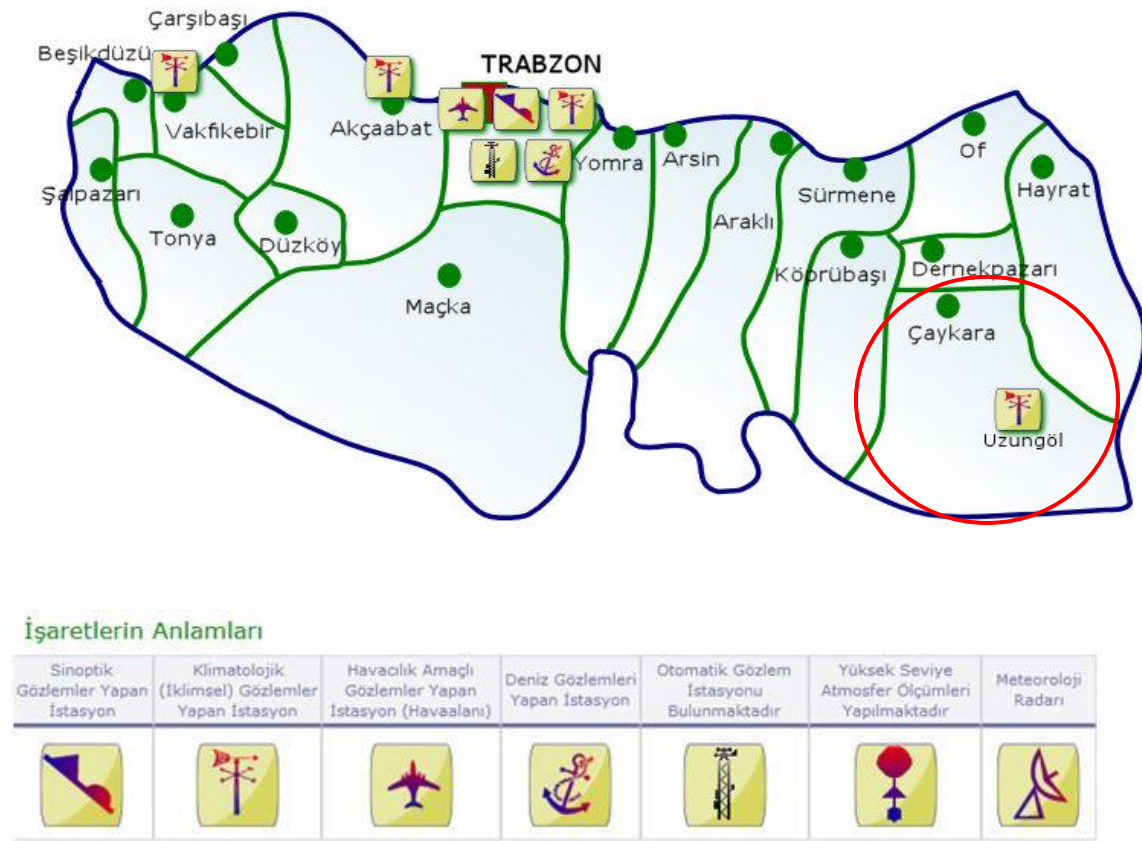
Havzanın hemen hemen her mevsim yağış alan ılıman iklime sahip olması, düşey olarak farklı tipte bitki örtüsü kuşakları meydana getirmiştir. Buna göre; 900 m yüksekliğe kadar nemi seven geniş yapraklı (kayın, gürgen, meşe, çam, sarıçam kızılâğaç, kestane, ceviz ve çeşitli meyve ağaçları), 900-1300 m arası ise iğne yapraklı ile kayın karışık ormanlar, 1300-2200 m ye kadar iğne yapraklı (karaçam-köknar gibi) ağaçlar mevcuttur. Ağaç türleri genellikle ilçe merkezinden yukarıya doğru kestane, kızılâğaç, gürgen, ladin, kayın, sarıçam, köknar, akağaç, saf ve karışık meşeler şeklinde bir değişim gösterir. İlçe geneline bakıldığında, ormanın üst sınırının Demirkapı ile 2200 m'ye ulaştığı görülmektedir. Havzada bulunan ormanların büyük çoğunluğunu Uzungöl yöresinde bulunan ormanlar oluşturmaktadır. Uzungöl ve çevresi bitki örtüsü, yaban hayatı bakımından elverişli ve zengin oluşu ve doğa güzelliğinin olması nedenleriyle “ Tabiatı Koruma Parkı” olarak ilan edilmiştir (Trabzon Valiliği, 2004).

2.1.3 İklim

Ilıman bir deniz ikliminin hakim olduğu Trabzon İli, kuzeydeki kutupsal hava kütleleriyle, güneydeki tropikal hava kütlelerinin geçiş sahası üzerinde yer almaktadır. DMİ'den alınan verilere göre aylık ortalama maksimum sıcaklık değeri Ağustos ayında 23 °C olarak ve aylık ortalama minimum sıcaklık değeri ise Şubat ayında 7 °C olarak gözlenmektedir. Uzun yıllar ortalama yağış miktarı 830 mm/m²'dir. Yılın 51 günü açık, 174 günü parçalı bulutlu ve 140 günü de kapalı olarak geçmektedir.

Çalışma alanı, Doğu Karadeniz havzasının bir bölümünü teşkil eden Solaklı dere havzası içinde genellikle nemli, yağışlı ve ılıman iklim kuşağındadır. Diğer yandan, coğrafi konumu nedeni ile iklim özellikleri, genellikle Karadeniz iklimi tesiri altında olmasına rağmen havzanın üst kısımlarına gidildikçe Karadeniz ikliminden uzaklaşılır. Solaklı Deresi havzasında iç kesimlere gidildikçe yağış miktarı azalır. Bunda en büyük etken kıyıya paralel uzanan dağların yağışı kesmesi iç kısımlara ulaşmasını önlemesidir.

Çalışma bölgesi yağış alanı içinde Şekil 2.4'te kırmızı ile çevrelenen ve DMİ'ye ait Çaykara ve Uzungöl meteorolojik istasyonlarından, bu çalışmada meteorolojik veri temin edilmiştir. Temel olarak bilinen sınıflandırma metodlarına göre nemli-yarı nemli, kışları serin, yazları ılık ve deniz tesirinde bir iklime sahiptir.

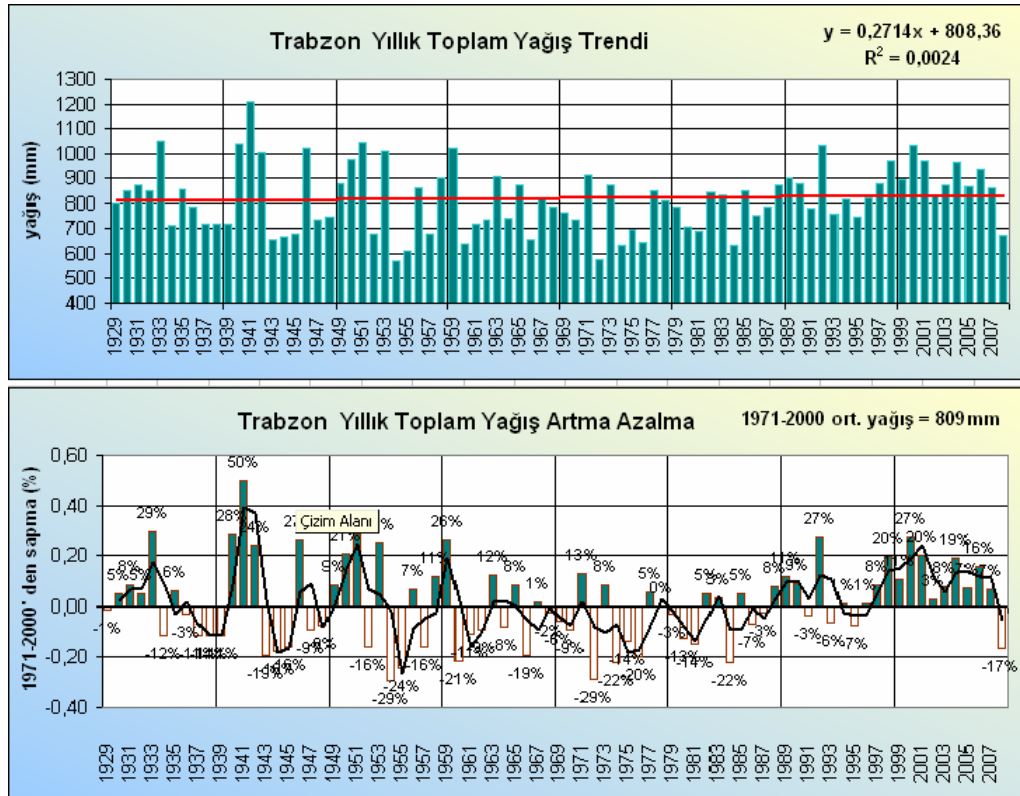


Şekil 2.4: DMİ Trabzon Bölgesinde yer alan meteorolojik gözlem istasyonlarının gösterimi; kırmızı ile çevrelenen alan çalışma alanında yer alan gözlem istasyonlarını göstermektedir (Trabzon Valiliği, 2009).

2.1.3.1 Yağış

Yağış alanına kuzeyden gelen sistemlerinin beraberinde getirdiği nemli hava kütleleri, alan üzerinde hareket ederken yağış alanındaki dağların topografik etkisi ile neminin önemli bölümünü bol yağış olarak bırakır. Çalışma alanının ortalarında yer alan Çaykara'nın yıllık ortalama yağışı 1000 mm civarındadır. Membadaki Uzungöl meteoroloji istasyonunda yıllık ortalama yağış miktarı 1121 mm civarındadır. Denizden yukarı kotlara çıkıldıkça yağış miktarı artmaktadır.

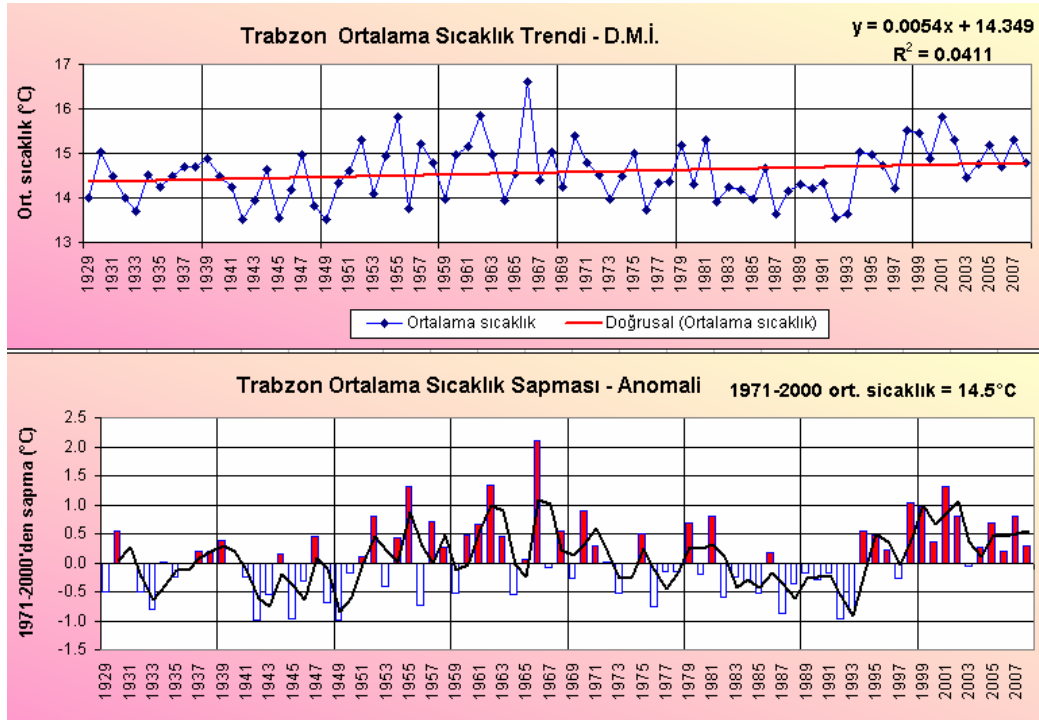
Kıyıya yakın alanlarda yağışlar yağmur, orta ve yüksek kesimlerde ise genellikle kar şeklinde gerçekleşmektedir. Karadeniz üzerinden beslenerek gelen nemli hava kıyı kesimlere paralel yükselen dağların topografik etkisiyle orografik yağışlara yol açmakta, zaman zaman yine kuzeyden gelen soğuk hava ile cephesel yağışlar da gözlenmektedir. Topografik özelliklerin değişkenliği kısa mesafelerde farklı hava şartlarına sebep olarak mikroklima alanları oluşturmakta bu da bölgede kıyı boyu ve iç kesimler arasında yağışlar bakımından farklılıklara neden olmaktadır. Trabzon ili yıllık toplam yağış trendi Şekil 2.5 ile gösterilmiştir.



Şekil 2.5: Trabzon iline ait yıllık toplam yağış trendi ve yıllık toplam yağıştaki değişimin grafiği (Trabzon Valiliği, 2009).

2.1.3.2 Sıcaklık

Çalışma alanı olan Solaklı dere havzasında yukarı kesimlere doğru çıkıldıkça karasal iklim etkisi ile sıcaklıklar azalmaktadır. Trabzon meteoroloji istasyonunun 1929-2005 yılları arasını kapsayan ortalama sıcaklık değeri 14.6 °C dir. Trabzon meteoroloji istasyonunun yıllık ortalama sıcaklık trendi ve yıllık ortalama sıcaklık anomalisi Şekil 2.6’da gösterilmektedir.



Şekil 2.6: Trabzon iline ait yıllık ortalama sıcaklık trendi ve yıllık ortalama sıcaklık anomalisi (Trabzon Valiliği, 2009).

2.1.3.3 Buharlaşma

Solaklı havzasında ve civarında buharlaşma rasadı yapılmamaktadır. Çalışma alanına en yakın buharlaşma rasadı yapan istasyon olarak Trabzon meteoroloji istasyonunun buharlaşma değerleri esas alınmıştır. Alınan verilere göre Trabzon'daki yıllık toplam buharlaşma miktarı 830 mm civarındadır.

2.2 Veriler

Bu çalışmada DMİ ve DSİ'den alınan meteorolojik veriler, DSİ'den alınan akım verileri ve TÜBİTAK projesi kapsamında temin edilen uydu verileri kullanılmıştır.

2.2.1 Meteorolojik veri

Çalışma alanı olan Solaklı havzasının hidrolojik modellemesinde Trabzon ili dahilinde ve çevre illerde yer alan meteorolojik gözlem istasyonlarından elde edilen meteorolojik veriler kullanılmıştır. Veri temin edilen meteorolojik gözlem istasyonları Çizelge 2.1. de yer almaktadır.

Çizelge 2.1: Çalışmada veri alınan meteorolojik gözlem istasyonları, koordinatları ve yükseklikleri.

ISTASYON	X	Y	H (m)
Gorele	500000	4542457	20
Vakfikebir	523811	4544346	25
Akcaabat	547628	4540656	3
Trabzon	563995	4538776	30
Arakli	589783	4531798	10
Of	606655	4533597	9
Cayeli	645582	4549349	10
Findikli	680081	4570484	100
Hopa	701956	4587726	33
Arsin	578257	4533517	10
Rize	627492	4543565	9
Pazar	659300	4562594	50
Eynesil	512583	4546063	10
Surmene	594327	4529502	12
Ardesen	666330	4560899	10
Uzungol	609071	4497483	1110
Meydan	662887	4527605	1100
Macka	552032	4514888	300
Ikizdere	629365	4515729	800
Sivrikaya	645053	4504915	1650
Kayaici	576055	4502037	1050
Tonya	525275	4525849	900
Tunca	677661	4555718	500
Duzkoy	536499	4523940	850
Koknar	602839	4502007	1218
Dagbasi	577387	4509452	1100
Guzelyayla	544967	4520393	1250
Hemsin	659797	4540496	500
Caykara	604880	4515760	264

2.2.2 Akım verisi

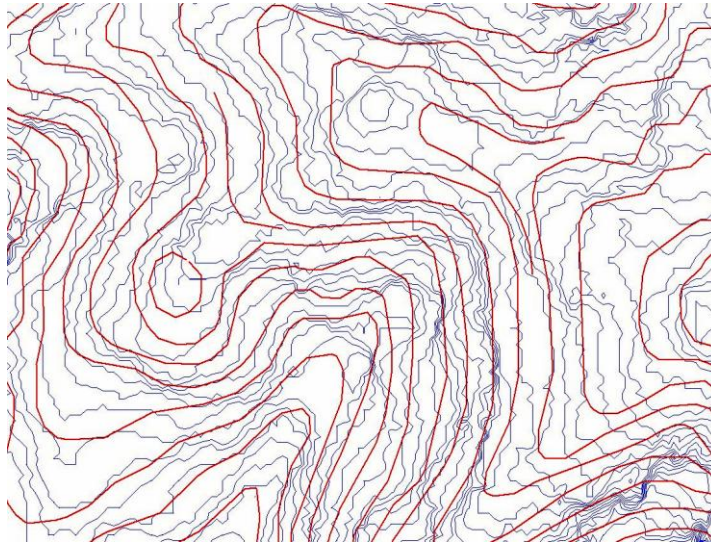
Solaklı havzası için alınan akım verileri DSİ Genel Müdürlüğü'ne ait gözlem istasyonlarından elde edilmiştir. İstasyonların verileri ya çok azdır ya da yoktur. Solaklı havzası için yapılan çalışmalarda kullanılan akım gözlem istasyonlarına (AGİ) ait bilgiler Çizelge 2.2' de yer almaktadır.

Çizelge 2.2: Çalışmada veri alınan akım gözlem istasyonları, yükseklik ve koordinatları

İstasyon No	İstasyon Adı	H (m)	X	Y	Yağış Alanı(km ²)	Gözlem Periyodu
22-07	Haldizen-Şerah	1116	609060	4497459	153,5	1965-2001
22-52	Solaklı-Ulucami	243	606671	4513562	576.8	1978-2001
22-57	Ögene-Alçakköprü	675	602599	4502760	241.0	1978-2001

2.2.3 Uydu ve yükseklik verisi

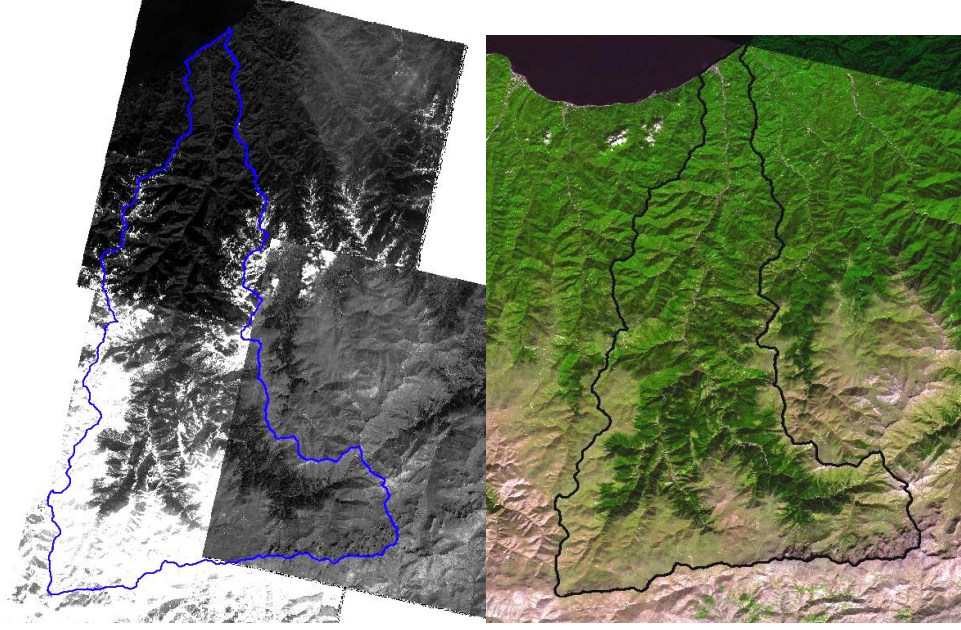
10 metre uzaysal çözünürlüklü SYM, Harita Genel Komutanlığından alınan 1:25.000 ölçekli sayısal eşyüksekti eğrileri (Şekil 2.7) kullanılarak üretilmiştir. Üretilen SYM verisi, uydu verilerinin ortorektifikasyon¹ işleminde kullanılmıştır.



Şekil 2.7: Proje bölgesinin bir kısmına ait 1/25000 ölçekli eşyüksekti eğrileri ve stereo görüntülerden üretilen eşyüksekti eğrilerinin birlikte gösterilmesi

106M043 kodlu TÜBİTAK projesi kapsamında çalışılan bölgeye ait uydu görüntüleri temin edilmiştir. Bu verilerden 18.12.2006 çekim tarihli stereo Cartosat -1 verisi (Şekil 2.8 (a)) SYM oluşturulmasında, 07.10.2006 çekim tarihli IRS P6 Multispektral – Pankromatik veri seti (Şekil 2.8(b)) ise sınıflandırma yöntemi ile arazi kullanım durumunun belirlenmesinde kullanılmıştır.

¹ Uydu görüntülerinin hassas bir biçimde koordinatlandırılabilmesi için sadece X ve Y koordinatlarına göre değil topoğrafyaya (Z) göre de geometrik düzeltilmesi yapılması gerekmektedir. Bu işleme ortorektifikasyon denilmektedir. Bu işlem için görüntü üzerinden ölçülmüş yer kontrol noktaları ve ayrıca aynı alana ait sayısal yükseklik modeli kullanılmaktadır.



(a)

(b)

Şekil 2.8: Çalışmada kullanılan uydu verileri; (a) Cartosat-1 (IRS P5) uydu verisine ait tüm havzayı kapsayan 2.5 m yersel çözünürlüklü ön görüntü ; (b) 5.8 m çözünürlüklü 4/2/1 band kombinasyonuna sahip IRS P6 verisi.

Görüntüler çalışma alanının tamamını kapsamaktadır. Kullanılan uydu görüntülerine ait bazı bilgiler Çizelge 2.3 ve Çizelge 2.4’te verilmiştir.

Çizelge 2.3: Çalışmada kullanılan uydu görüntülerine ait genel özellikler.

Cartosat – 1	Güneyden Çekim	Kuzeyden Çekim
Çekim açısı	+26 deg	-5 deg
Uzaysal Çözünürlük	2.5 m	2.5 m
Çerçeve genişliği	30 km	27 km
Radyometrik çözünürlük	10 bit	10 bit
Spektral Çözünürlük	500-850 nm	500-850 nm

Çizelge 2.4: Çalışmada kullanılan uydu görüntülerine ait genel özellikler.

IRS – P6 (LISS IV)		LISS-IV		LISS-III
		Mono Mode	MX Mode	
Uzaysal Çözünürlük	Tüm bantlar	5.8 m	5.8 m	23.5 m
Çerçeve genişliği	Tüm bantlar	70 km	23.9 km	140 km
Radyometrik çözünürlük	Tüm bantlar	7 bit	7 bit	7 bit
Spektral Çözünürlük	Band 2 (yeşil)	620-680 nm	520-590nm	520-590 nm
	Band 3 (kırmızı)		620-680 nm	620-680 nm
	Band 4 (NIR)		770-860 nm	770-860 nm
	Band 5 (SWIR)			1550-1700 nm

3. UYGULAMA

3.1 Arazi Çalışmaları

Çalışma alanı olarak seçilen Solaklı dere havzası proje kapsamında yerinde ölçmeler ile çalışılmıştır. Arazi çalışması küresel konum ölçmeleri ve arazide sınıfların belirlenmesi şeklinde gerçekleşmiştir.

3.1.1 GPS ölçümleri

Açılımı İngilizce Global Positioning System olan GPS terimi, küresel konum belirlemeyi ifade etmektedir. Bu sistem 1970’lerde Amerika Birleşik Devletleri Savunması tarafından geliştirilmiş ve ilk olarak 1989 yılında operasyonel olarak kullanılmaya başlanmıştır. Sistem temel olarak uydu ve bu uydulardan gelen sinyalleri toplayan alıcılardan oluşmaktadır. Uzayda yörüngelerine oturtulmuş uydulardan gelen sinyaller alıcılar vasıtasıyla toplanıp işlenerek konum, hız ve zaman bilgisi verirler. Mühendislik kullanım amaçlı GPS’ler ile mm mertebesinde konum hassasiyetine ulaşılabilmektedir. Değişik yöntemleri olan GPS ölçümlerinin temelinde koordinatı bilinen referans noktasına bir cihaz, ölçülmesi istenen noktaya da başka bir cihaz yerleştirilerek eşzamanlı olarak uzun süreli (bu çalışmada 15-30 dakika) ölçümler yapılır. Sonrasında alıcı tarafından kaydedilen verilerin bilgisayar ortamında analiz edilmesi ile yeni noktanın koordinatları belirlenmiş olur. Bu tekniğe statik ölçüm tekniği denir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1: Statik GPS ölçüm şeması.

Ortorektifikasyon işlemi gerçekleştirilerek çalışmada kullanılan uydu görüntüleri arazi ile uyumlu halde koordinatlandırılmıştır. GPS ile çalışma alanını temsil edecek şekilde yeterli sayıda ve homojen dağılmış, ayırt edilebilir yer kontrol noktaları (bina köşesi, köprü kenarı, kavşak birleşim yerleri gibi) belirlenerek koordinatları ve yükseklik bilgileri tespit edilmiştir. Elde edilen bu bilgiler aynı zamanda proje kapsamında elde edilen SYM'nin oluşturulmasında kullanılmıştır. Ölçümlerde Harita Genel Komutanlığı tarafından koordinatları yüksek doğrulukla belirlenmiş olan Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA) ve Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü ile İller Bankası projelerinde TUTGA noktalarına bağlı olarak tesis edilmiş ve koordinatları yüksek doğrulukla belirlenmiş olan ve isimleri ile koordinatları Çizelge 3.1'de verilen 1. ve 2.derece kontrol noktaları sabit noktalar olarak kullanılmıştır.

Çizelge 3.1: GPS sabit baz istasyonlarının koordinat ve yükseklikleri.

NOKTA ADI	X (doğu)	Y (Kuzey)	Z(ortometrik)	Z(Elipsoidal)
G4410005	591928.95	4494861.10	2411.07	2440.68
G4420006	616312.78	4531226.17	251.84	277.35
G4420013	608691.31	4521146.67	507.31	534.05
G4420014	606252.15	4499611.97	1539.45	1568.41
G4420015	603122.43	4507989.28	913.37	941.65
G4420031	603050.04	4485324.49	2566.94	2596.51
G4420033	610639.76	4506829.52	2087.92	2116.49
G4420034	619716.00	4491799.46	1937.49	1967.07
G4420035	610028.58	4495304.80	1892.96	1922.20
G4420022	620249.51	4493756.29	2118.03	2147.54
G44-G001(TUTGA)	604765.57	4532272.69	14.38	39.60

Ölçülmüş olan yer kontrol noktaları ve sabit istasyonlar havza sınırı ile birlikte ölçülen noktaların uydu verisi üzerinde gösterimi ve arazinin ölçüm sırasında çekilen fotoğrafları Şekil 3.2'de yer almaktadır.

Çizelge 3.2: Ölçülen GPS noktalarının koordinat ve yükseklik bilgileri

Nokta adı	X(doğu)	Y (Kuzey)	Z (H)	Z (h)
A33	606345.30	4514463.20	411.95	439.50
A2	603770.31	4531713.84	1.86	27.15
A36	606453.99	4533374.33	7.90	32.99
A002	610142.20	4536080.70	6.45	31.24
A1--	601136.37	4508787.58	1352.79	1380.99
A10-	619596.75	4529063.72	115.39	141.26
A12-	604631.18	4501436.27	1577.58	1606.43
A14-	604155.76	4493371.90	1592.03	1621.37
A15-	596587.40	4491805.01	2073.22	2102.76
A17-	618964.27	4490424.05	1982.79	2012.41
A19-	622851.92	4490565.79	2469.97	2499.68
A20-	617653.74	4487817.87	2550.01	2579.65
A21-	593605.59	4487414.11	2436.59	2466.37
A22-	598902.08	4485108.73	2485.00	2514.66
A23-	607773.78	4487867.62	2332.17	2361.69
A25-	609384.05	4491019.50	2475.99	2505.41
A26-	603602.99	4488260.26	2237.65	2267.18
A27-	596095.15	4497023.84	2291.77	2321.08
A28-	597368.70	4505988.35	1867.76	1896.38
A29-	611390.46	4503179.73	2233.03	2261.90
A30-	616918.70	4498507.68	2166.44	2195.73
A31-	620426.44	4494269.25	2212.88	2242.37
A34-	602654.12	4527402.78	445.09	470.98
A35-	614981.27	4526835.08	227.46	253.55
A44-	598476.01	4508741.61	1811.56	1839.83
A5--	611493.27	4510097.29	1875.03	1903.29
A6--	599512.37	4518623.90	1235.58	1262.66
A9--	607991.10	4526252.33	65.72	91.79
AA8-	612790.94	4519959.66	1066.26	1093.29
AYY-	609807.89	4493758.71	1891.82	1921.13
GOL2	609127.81	4497342.75	1118.10	1147.23
Y11-	612181.53	4518003.47	1300.85	1328.14
A7x	606884.30	4521162.15	274.32	301.05

3.1.1.1 GPS ile istasyonların koordinatlarının ve yüksekliklerinin tespiti

Çalışma alanında yer alan akım gözlem istasyonlarının ve Meteoroloji istasyonlarının yapılan arazi çalışması sırasında el GPS'i ile yapılan konum ölçümleri ± 3 -5 m doğrulukla belirlenmiştir. Çizelge 3.3'te yerinde ölçülmüş olan istasyonlara ait koordinat ve yükseklik bilgileri, Şekil 3.3'te ise ölçülen bu istasyonlara ait fotoğraflar verilmiştir.

Çizelge 3.3: AGİ ve Meteoroloji istasyonlarının koordinat ve yükseklikleri.

TÜRÜ	ADI	X (m)	Y (m)	Z (m)
AGİ	Eskipazar-Köprü Üzerinde	4535760	609878	12
AGİ	Haldizen Suyu (Serah), Uzungöl	4497459	609060	1116
Göl Gözlem	Uzungöl Üzerinde	4497410	609504	1111
AGİ	Solaklı Ulucami	4513714	606083	243
AGİ	Ögene Deresi - Alçak Köprü	4502760	602599	675
AGİ	İkizdere Mansap	4535841	614861	12
Yağış	Hayrat Meteoroloji Yağış	4527424	615198	176
AGİ	Hayrat Tatlancık	4522261	618056	363
AGİ	Of-Balaban	4519404	615242	531
Meteoroloji	Köknar	4502007	602839	1218
Meteoroloji	Sürmene	4529502	594327	12
Meteoroloji	Of	4533597	606655	9
Meteoroloji	Uzungöl Çıkış	4497483	609071	1110
Meteoroloji	Çaykara	4511576	604880	264



Şekil 3.3: GPS ile konumları tespit edilen istasyonlar (a) Akım Gözlem İstasyonu (b) Yağış İstasyonu

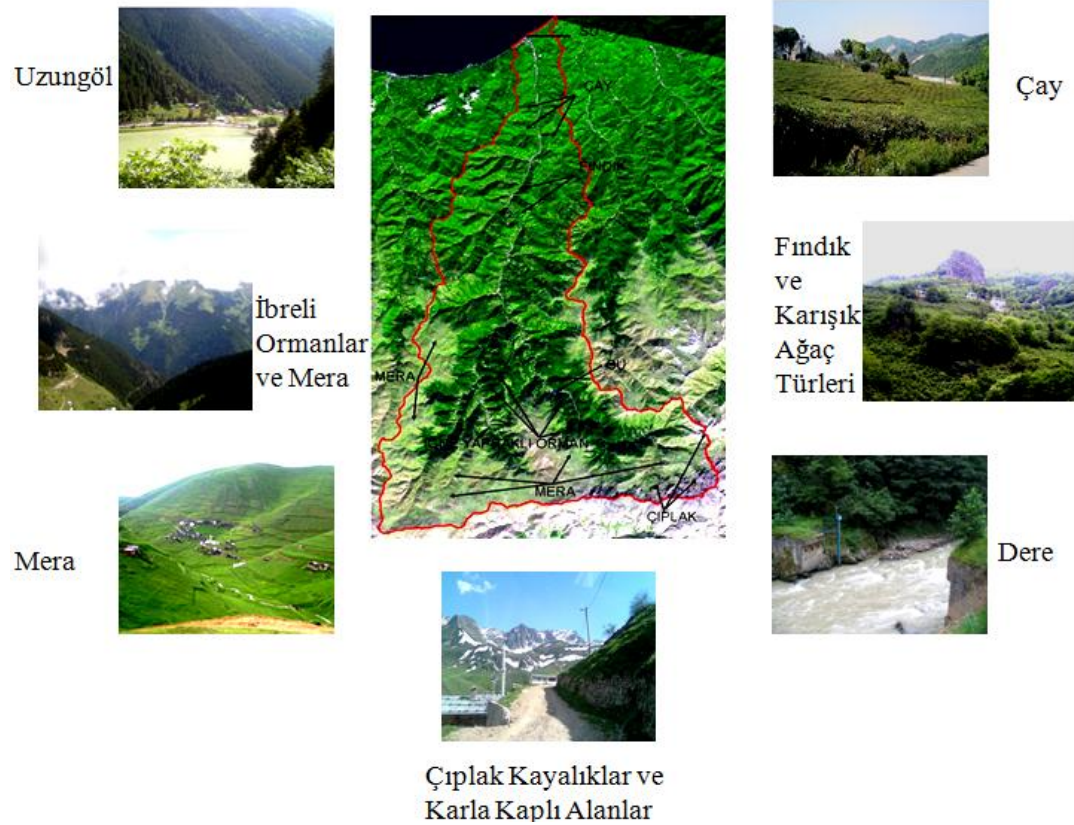
3.1.2 Arazi sınıflarının belirlenmesi

Çalışma alanında, “Bitki Örtüsü” bölümünde de değinildiği üzere çay, fındık, mısır, ladin ve özellikle kızılğaç yaygın bitki örtüsüdür. Kot arttıkça yer yer kestane ve gürgen ağaçları ile ceviz, kiraz, elma, armut gibi meyve ağaçları bulunmaktadır. Sıklıkla sarı orman gülü ve mersin kirazına rastlanmaktadır. Yayvan yapraklı ağaçlar 1500 m’den sonra azalarak yerini ladinin yanı sıra kayın ve huş ağacı almaktadır. 2000 m’nin üstünde ise orman gülü gibi çalılara rastlanmaktadır. Bölgenin daha yüksek kesimlerinde ise çimen, çayır ve kayalık alanlar hakimdir.

Arazi gözlemleri ve Trabzon Valiliğinden alınan bilgiler ışığında, uydu verilerinin sınıflandırılması ve arazi kullanımının belirlenmesi amacı ile yer doğruluklu çalışma alanından alınan örneklemeler homojen ve araziyi temsil edecek şekilde belirlenmiştir. Alınan farklı sınıf örneklerinin konumları GPS ile tespit edilmiş ve yersel fotoğrafları çekilmiştir. Farklı türlere ait örneklemelerin, yeterli sayıda ve havzanın tamamını homojen olarak temsil edebilecek nitelikte olmasına özen gösterilerek aşağıdaki sınıflar belirlenmiştir:

- | | |
|------------------|------------------------|
| ✓ Su | ✓ Mera |
| ✓ Kayalık Alan | ✓ Ekili alanlar |
| ✓ Yerleşim | ✓ Karla kaplı alanlar |
| ✓ Toprak alanlar | ✓ İğne yapraklı orman |
| ✓ Yol | ✓ Geniş yapraklı orman |

Şekil 3.4'te uydu görüntüsü üzerinde bu sınıfların yerleri ve bu sınıflara ait yersel fotoğraflar gösterilmektedir.



Şekil 3.4: Tespit edilen arazi sınıfları ve uydu görüntüsü üzerinde gösterimi.

3.2 Uzaktan Algılama Verilerinin İşlenmesi

Uydulardan alınan veriler kullanılmadan önce bazı ön işlemlerden geçmelidir. Ön işlem uygulamaları algılayıcı ve platform için radyometrik, veri için geometrik bozunmaları düzeltmek amaçlıdır. Radyometrik düzeltmeler algılayıcı düzensizliklerini, istenmeyen algılayıcı veya atmosfer gürültülerini gidermeyi ve algılayıcıdan ölçülen yansıtılan veya yayılan ışınımı doğru temsil etmesi için verinin dönüştürülmesi işlemlerini içerir. Geometrik düzeltmeler algılayıcı – yer geometrisi varyasyonlarından kaynaklanan geometrik bozunmaların düzeltilmesi ve verinin gerçek yersel koordinatlara dönüştürülmesini içerir.

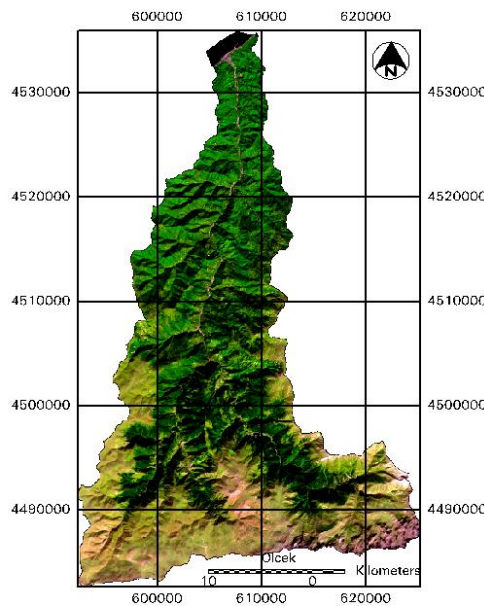
3.2.1 Uydu görüntülerinin geometrik düzeltmesi

Algılayıcı platformun yüksekliğindeki, konumundaki veya hızındaki değişimlerden ve yeryüzü eğriliği gibi birçok sebepten kaynaklanan, sistematik veya sistematik olmayan, bir takım geometrik bozulmalar içeren ham sayısal görüntüler harita amaçlı kullanılamazlar. Bu bozulmalar geometrik düzeltme işlemi ile giderilerek, uydu görüntüsünün harita geometrisiyle bütünleşmesi sağlanmaktadır.

Geometrik düzeltme işlemi iki yaklaşım ile ifade edilmektedir. İlk yaklaşımda, sistematik olan bozulmaların hata kaynakları matematiksel olarak modellenir ve düzeltme işlemi uygulanır. Sistematik olmayan bozulmalar ve sebebi bilinmeyen sistematik bozulmaların giderilmesi ise ikinci yaklaşım ile hedeflenmektedir. Bunun için görüntüde homojen dağılmış, konumu belirli olan yer kontrol noktaları (Ground Control Points, GCP) tespit edilir, bu noktalar ile bu noktaların haritadaki karşılıkları arasında matematiksel bağıntı kurularak düzeltme işlemi gerçekleştirilmektedir. Kontrol noktaları hem satır ve sütun olarak tanımlanan görüntü koordinatları hem de haritadan ölçülmüş koordinatlar veya enlem/boylam değerleri olarak ifade edilen yer koordinatları bilinen noktalardır. Yer koordinat sistemi ile görüntü koordinat sistemi arasındaki ilişkiyi ifade edilen transformasyon eşitlikleri için gerekli katsayılar En Küçük Kareler yöntemi uygulanarak belirlenir ve elde edilen eşitlikler kullanılarak geometrik dönüşüm yapılır. Geometrik düzeltme sonucunda, ham görüntüdeki geometrik bozulma etkileri giderilir, görüntü tanımlı bir coğrafi koordinat sistemine oturtulur böylece düzeltilmiş sayısal görüntü, harita olarak kullanılabilir.

Bu çalışmada kullanılan IRS P6 uydu verisini sağlayan firma tarafından 2A seviyesinde işlenmiş olup radyometrik olarak düzeltilmiş, detektör hataları giderilmiş ve UTM koordinatlarına oturtulmuştur.

2A seviyesinde işlenmiş verilerde, konumlandırma işlemi, yer merkezli geosentrik WGS 84 elipsoidi referans alınarak gerçekleştirilmekte, bu işlemde projeksiyon merkezi, uydu yörüngesi baz alınarak seçilmektedir. Yer kontrol noktası ve yükseklik verisi geometrik dönüşüm esnasında kullanılmamaktadır. 2A seviyesinde işlenen uydu verileri için sağlayıcı firmanın açıkladığı teknik bilgilere göre geometrik doğruluk 9 ile 300 metre arasında değişmektedir. Yüksek doğruluklu konum bilgilerinin elde edilmesi için bir sonraki aşamada Sayısal Yükseklik Modelinin oluşturulması gerekmektedir. GPS ölçümleriyle elde edilen yer kontrol noktaları ve 1/25000 ölçekli eşyüksekti eğrileri kullanılarak SYM elde edilmiştir. Rasyonel polinom katsayıları (RPC) ve kamera modeli temel alınıp bir önceki aşamada üretilen SYM kullanılarak, ortorektifikasyon işlemi ± 0.2 piksel karesel ortalama hata ile gerçekleştirilmiştir. Böylece IRS P6 uydu görüntüsünün yeryüzü ile mekânsal olarak örtüşmesi sağlanmıştır. Türkiye için kullanılan UTM projeksiyonu, WGS 84 datumu ve 37. zon kullanılarak uydu görüntüsü referanslandırılmıştır. En yakın komşuluk enterpolasyonu yöntemi kullanılarak yeniden örnekleme sırasında, görüntülerin spektral değerlerinde oluşabilecek değişimin en az seviyede kalması sağlanmıştır. Şekil 3.5'te tüm bu işlemlerin tamamlanmasıyla elde edilen geometrik olarak düzeltilmiş uydu görüntüsü gösterilmektedir.

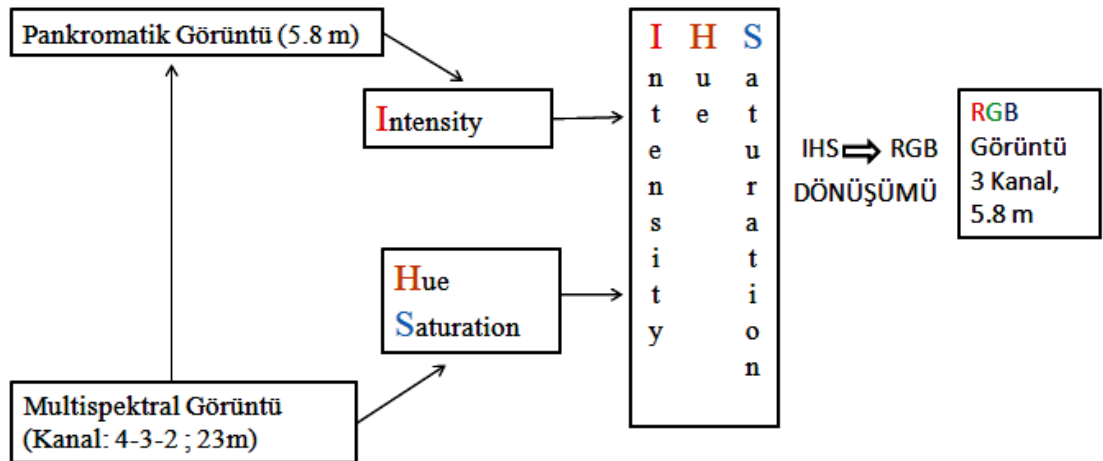


Şekil 3.5: 2006 yılına ait geometrik düzeltmesi yapılmış görüntü.

3.2.2 Uydu görüntülerinin akıştırılması

Temel olarak farklı uydulardan ya da aynı uydunun farklı algılayıcılarından farklı uzaysal ve spektral çözünürlüğe sahip çeşitli çözünürlüklerdeki görüntülerin entegre edilmesi işlemi veri çakıştırma olarak adlandırılır. Veri akıştırma işlemi sayesinde aynı bölgeye ait yüksek uzaysal çözünürlüklü pankromatik görüntü ile yüksek spektral çözünürlüklü multispektral görüntüler çakıştırılarak gerek uzaysal gerekse spektral anlamda yüksek çözünürlüklü veri elde edilir. Bu çalışmada veri çakıştırma yöntemleri arasında yaygın olarak kullanılan yöntemlerden olan IHS (Intensity Hue Saturation) transformasyon metodu kullanılmıştır.

Bu çalışmada, 23 metre uzaysal çözünürlüğe sahip, çok kanallı IRS P6 verisi, uzaysal çözünürlüğü 5.8 metre olan IRS P6 pankromatik verisiyle çakıştırılmıştır. IHS Dönüşümü için çok kanallı IRS P6 görüntüsünün seçilen 3 kanalı (4/3/2) IHS sistemindeki yoğunluk (Intensity), renk tonu (Hue) ve doygunluğa (Saturation) dönüştürölür. Yüksek uzaysal çözünürlüklü pankromatik görüntü IHS sisteminde yoğunluk (I) verisi ile aynı kontrast özelliklere ve spektral karakteristiklere sahiptir. Bu nedenle IHS'deki yoğunluk verisi (I) ile pankromatik görüntü yer değiştirir. Bu aşamadan sonra IHS'den ters dönüşümle RGB (Red/Green/Blue; kırmızı / yeşil / mavi) ana renk kombinasyonuna ulaşılır. Böylece yüksek çözünürlüklü 3 kanallı veri elde edilmiş olur. şekil 3.6'da IHS dönüşümünün şematik gösterimi verilmiştir.



şekil 3.6: IHS dönüşüm metodunun şematik gösterimi.

3.2.3 Uydu görüntülerinin sınıflandırılması

Her bir yüzey elemanı üzerine gelen ışığı farklı oranlarda yansıtır, yutar ve geçirir. Uydu verilerinden elde edilen farklı kanallardaki sayısal verilerin, türleri gösteren görüntülere dönüştürülmesi uzaktan algılamanın kavramsal yöntemleri ile işlenmesi sonucunda elde edilir. Bir multispektral görüntüde her piksel uzay koordinatları olan x , y ve spektral koordinata karşılık gelen dalga uzunluğu ile tanımlanmaktadır. Aynı obje türüne ait yansıtımlar, her bir kanalda farklı değerlere sahiptir. Cisim üzerine gelen ışık ışını, cismin yapısına bağlı olarak yansıtma, geçirilme ve yutulma değerleri vermektedir. Spektral piksel ölçümlerinin her bir sınıf için vektörlerin bir kümesi olması nedeni ile sınıflandırma sırasında en az iki kanala gereksinim duyulur. Sınıfların birbirleri ile olan korelasyonlarının belirlenerek her bir pikseli en yakın olduğu kümeye atayarak türlerin belirlenebilmesi için başta “Bayes Teoremi” olmak üzere pek çok hesap ve istatistik yöntem uygulanmaktadır.

Sınıflandırma işlemi sırasında, görüntü işleyici görüntü verisinde yersel ölçümlere dayalı örnekleme bölgeleri seçiyor ve daha önce belirlenmiş olan spektral özelliklerden yararlanarak sınıflandırma işlemini yönetiyor veya etkiliyor ise “Kontrollü Sınıflandırma” denir. Kontrollü sınıflandırmanın bir alternatifi ise sınıflandırma sürecinde; çok sayıdaki hangi sınıfa dahil olacağı bilinmeyen piksellerin görüntü verisindeki doğal gruplaşmalarını irdeleyen algoritmaların kullanıldığı “Kontrolsüz Sınıflandırma” yöntemidir. Her iki sınıflandırma yönteminde de temel amaç pikseli sahip olduğu yansıtma değerine göre yeryüzünde o piksele karşılık gelen türün oluşturduğu kümelere atamaktır (Coşkun ve Algancı, 2006). Bu çalışmada kontrollü sınıflandırma yöntemi ele alınmıştır.

Daha önce IHS Dönüşümü yöntemi kullanılarak 23 m çözünürlüklü IRS P6 multispektral ve 5.8 m çözünürlüklü IRS P6 pankromatik görüntülerinin karşılaştırılması ile elde edilen 2006 yılına ait yüksek çözünürlüklü uydu verisi kullanılarak çalışma alanının arazi kullanım analizi yapılmıştır. İşleme uydu görüntüsünden seçilen 20 sınıf ile kontrolsüz sınıflandırma uygulanıp su kaplı alanlar, yollar, ormanlar ve toprak alanlar sınıflara ayrıştırılarak başlanmıştır (Şekil 3.7 (a)). Bu çalışmayı daha anlamlı hale getirmek üzere görüntüden alınan 588 örnek ile sınıflandırma çalışması detaylandırılarak kontrollü sınıflandırma tekniği uygulanmıştır (Şekil 3.7 (b), (c)). Alınan örnekler kendi aralarında benzer gruplarda toplanmak üzere yeniden kodlama (recode) işlemi uygulanmış ve tüm bu işlemlerin

ardından 588 adet sınıf içindeki benzer spektral özellikteki sınıflar 10 adet sınıfta toplanmıştır (Şekil 3.7 (d)).

Sınıflandırma işleminin tamamlanmasının ardından, sonuç ürünün doğruluğunun belirlenmesi gerekir. Bunun için, çalışma bölgesine ait mevcut haritalar veya GPS ölçmeleri neticesinde elde edilen kesin olarak doğruluğuna emin olunan referans verileri kullanılır. Ancak bu sistem pratik değildir ve bundan dolayı bir grup referans pikseli seçilir ve bu pikseller sınıflandırılmış görüntüdeki bilinen gerçek verileri temsil eder. Sınıflandırılmış görüntü verisindeki piksellerle bu referans verileri karşılaştırılır.

Karşılaştırma işleminde piksellerin rastgele seçilmesi, doğruluk değerlendirmesi yapan kişinin olumlu veya olumsuz olarak hesaplamaya etkisini önler. Sınıflandırma doğruluğunun belirlenmesinde, sınıflandırma aşamasında kullanılmayan kontrol bölgelerine ait piksellerin seçilmesi gerekir. Böylece yine sınıflandırma doğruluğunun kontrol bölgeleri ile olumlu bir şekilde etkilenmesi önlenmiş olur. Bu amaçla en çok kullanılan yöntem hata matrisidir.

Hata matrisi yardımı ile sınıflandırılmış piksellerin doğruluk yüzdeleri hesaplanır. Birçok hata ölçüsü, bu hata matrisinden elde edilebilir. Bunlardan bazıları toplam doğruluk, üretici ve kullanıcı doğruluğudur.

Hata matrislerinden elde edilen sınıflar arası doğrulukların analiz edilmesi amacıyla k kappa katsayısı kullanılır. K değeri genel doğrulukla Kappa katsayısı, 0 ile 1 arasında değer alır ve hata matrisinin satır ve sütun toplamaları ve köşegeni üzerindeki elemanlar kullanılarak hesaplanır. k'nın 1 olması istenen en ideal durumdur.

Kappa değerinin hesaplanması aşağıdaki şekildedir;

$$k = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \cdot x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \cdot x_{+i})} \quad (3.1)$$

r = hata matrisindeki toplam satır sayısı

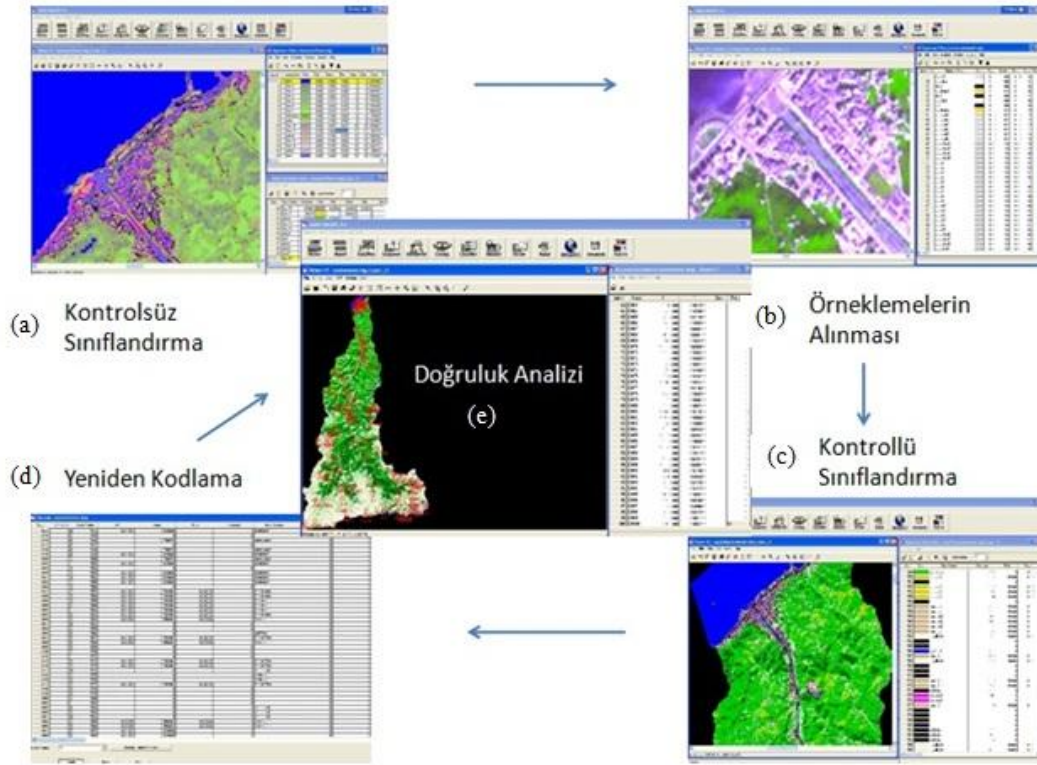
x_{ii} = i.Satır ve sütundaki piksel sayısı

x_{i+} = i Satırdaki toplam piksel sayısı

x_{+i} = i sütunundaki toplam piksel sayıları

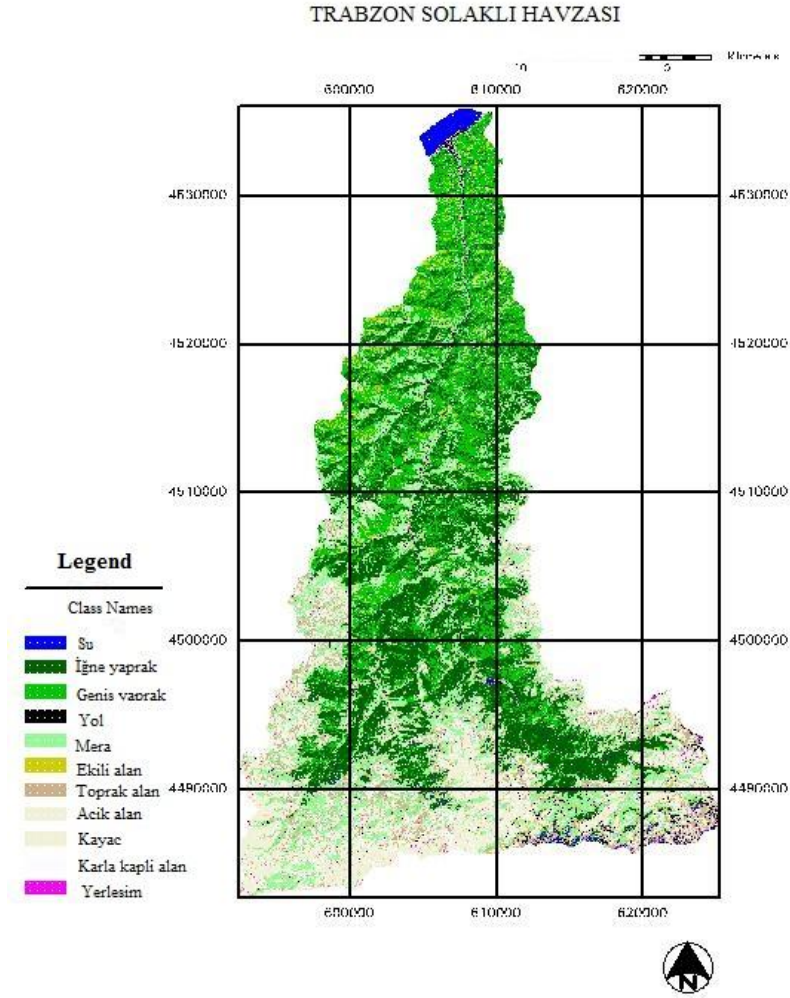
N = matrisin tamamındaki piksel sayıları

Bu çalışmanın doğruluk analizini gerçekleştirmek için sınıflandırılmış görüntü üzerinde 100 adet rastgele dağılmış nokta alınmış ve yüksek çözünürlüklü uydu verileri, yapılmış olan arazi çalışmaları ile karşılaştırılarak arazi kullanım sınıflarının doğruluğu analiz edilmiştir (Şekil 3.7 (e)). Bu analiz sonucunda toplam sınıflandırma doğruluğu %76 bu analize ait kappa istatistik değeri 0.7333 olarak bulunmuştur.



Şekil 3.7: 2006 IRS P6 uydu verisinin sınıflandırılma işlemi basamakları.

Kontrollü sınıflandırma işlemi sonucunda belirlenen arazi kullanım sınıflarına ilişkin alansal analizler gerçekleştirilmiş ve her bir sınıfın alan değeri hektar bazında belirlenmiştir (Çizelge 3.4) ve arazinin kontrollü sınıflandırılmış görüntüsü Şekil 3.8’de yer almaktadır.



Şekil 3.8: 2006 tarihli IRS P6 verisinin kontrollü sınıflandırma işlemiyle oluşturulmuş sonuç görüntüsü.

Çizelge 3.4: Arazi kullanım sınıflarının hektar bazında alansal analizi.

SINIF	ALAN (ha)
SU	879.2
KAYALIK ALAN	13832.1
YERLEŞİM	333.5
TOPRAK ALAN	5691.6
YOL	952.9
MERA	15397.1
EKİLİ ALAN	1565.3
KARLA KAPLI ALAN	4166.6
ORMAN İĞNE	19686.8
ORMAN GENİŞ	15062.2
TOPLAM	77567,4

3.2.4 Sayısal Yükseklik Modelinin (SYM) Oluşturulması

İki gözün aynı cismi farklı açıyla gözlemleyerek üç boyutlu algılayabilmesini sağlayan optik prensip temel alınarak (stereoskopik görüş), aynı bölgeye ait farklı açıdan kaydedilmiş uydu görüntüsü çiftleri ile stereo değerlendirmeler yapılmakta ve sonunda arazi topografyasının üç boyutlu bilgileri elde edilebilmektedir (Şekil 3.9).

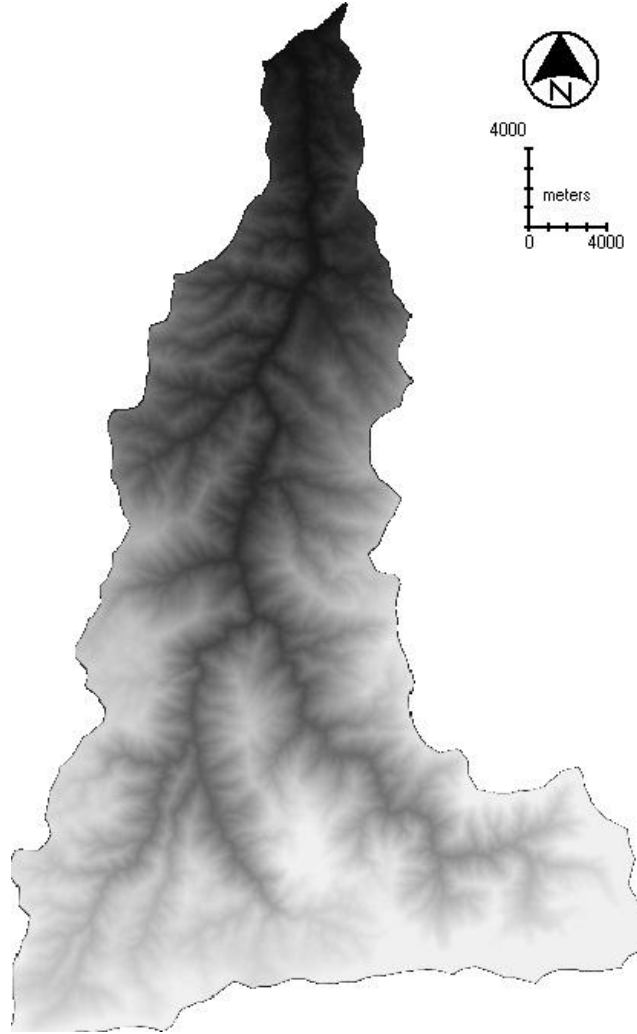
Su kaynakları çalışmalarında SYM elde edilmesi büyük bir önem taşımaktadır. SYM sayesinde çalışılan havzanın yükseklik farkları, eğim haritaları, yön haritaları, su toplama havzalarını belirlenmesi, drenaj ağlarının belirlenmesi gibi pek çok topografik öge kolaylıkla belirlenebilmektedir. Kullanılan sayısal yükseklik modelinin nitelik ve çözünürlüğü, elde edilen bilgilerin doğruluğunu belirler. Örneğin, yükseklik verilerinin doğruluğu niteliğin, hassaslığı ise, çözünürlük ile ifade edilmektedir.

Solaklı Havzası ile ilgili hidrolojik çalışmalarda hassas SYM belirlenmesi için stereo (iki farklı açıdan) görüntü veren, 2.5 m çözünürlüklü çekim yapan, Hint uydusu Cartosat-1 (IRS P5) verileri ile çalışılmıştır. Bu verilerin işlenmesi ile yatayda ve düşeyde 4 m konum hassasiyetli SYM ve eş yükseklik eğrileri elde edilmektedir. Bu çözünürlük ve doğruluk değerleri göz önünde bulundurulduğunda, oluşturulan SYM 1:10000 ölçeğine karşılık gelmektedir (Kumar, 2006).



Şekil 3.9: Stereoskopik algılamanın temel prensibi.

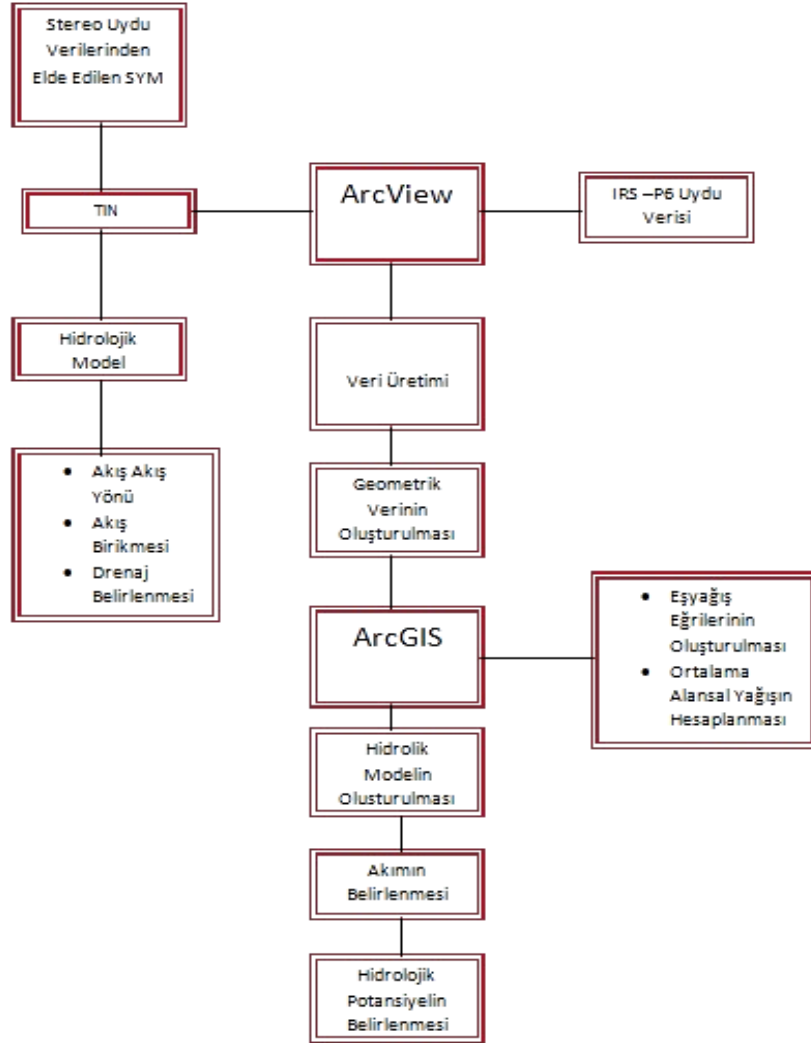
Otomatik stereo-korelasyon metodu, stereo uydu görüntülerinden SYM oluşturma aşamasında son yıllarda en çok kullanılan ve standartlaşan metoddur. Stereo-korelasyon, ilişkilendirilmiş stereo görüntü çiftlerinden SYM oluşturma işleminin hesaplamalı ve istatistiksel bir aşamasıdır (Ackerman, 1984; Ehlers ve Welch, 1987; Lang ve Welch, 1999). Stereo-korelasyon işleminin temelinde otomatikleştirilmiş görüntü eşleme yatar. Kullanılan görüntü işleme yazılımına göre değişiklik göstermekle birlikte, bu işlemin genel adımları; yer kontrol noktalarının işaretlenmesi, görüntü eşleme aşamasında piksel bazında paralaks değerlerinin belirlenmesi ve oluşturulan SYM de meydana gelen anomalilerin giderilmesi şeklindedir (Kok ve diğ., 1987). Projeksiyon, zon ve datum bilgileri sırasıyla UTM, 37. zon ve WGS 84 olmak üzere tanımlanarak SYM oluşturulmuştur (şekil 3.10).



şekil 3.10: Stereo görüntülerden oluşturulan SYM.

3.3 Hidrolojik ve Hidrolik Modelleme Uygulaması

Hidroelektrik potansiyel parametrelerinin belirlenmesi için yapılan bu uygulamanın akış şeması Şekil 3.11’te gösterilmiştir.



Şekil 3.11: Hidrolojik ve hidrolik model uygulamasının akış şeması.

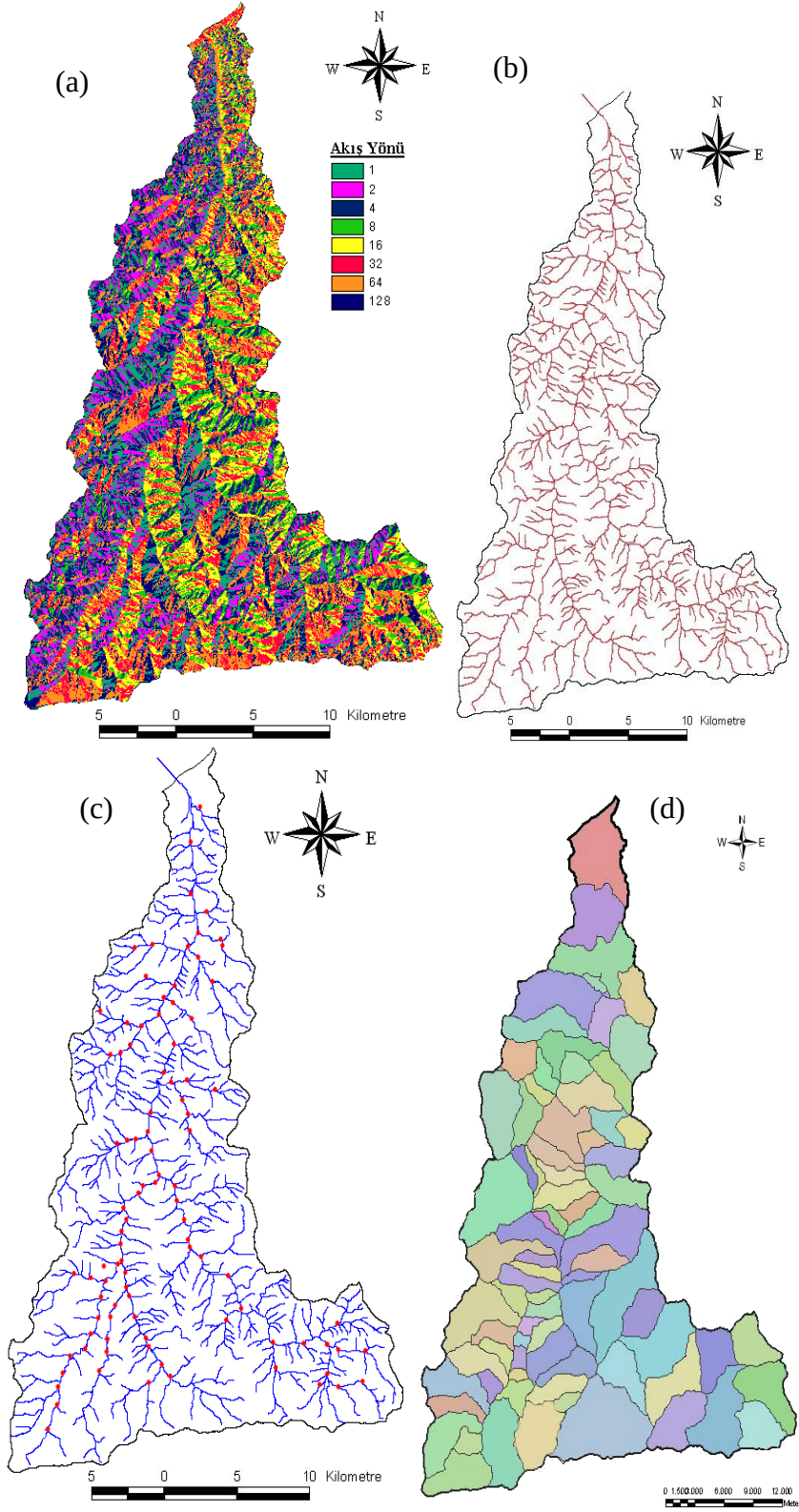
3.3.1 Havza parametrelerinin belirlenmesi

Havzaya ait; alan, çevre, minimum, maksimum ve ortalama yükseklik gibi parametrelerinin belirlenmesi için, grid yapılı SYM verisi, ArcView alt programı olan Hydro modülü kullanılarak bir dizi işleme tabi tutulmuştur.

Bu işlemlerin ilk adımı olarak SYM’nin onarılması (DEM reconditioning) tamamlanmıştır. Bir sonraki adımda SYM deki çöküntü alanlarının doldurması işlemi (fill sinks) gerçekleştirilmiştir. Bu adımdan sonraki işlemler yeni oluşturulan, daha yüksek doğruluklu SYM kullanılarak yapılmıştır.

Yüksek doğruluklu SYM'nin oluşturulmasından sonra sırası ile akış yönü (flow direction) haritasının oluşturulması, yüzeysel akış miktarı (flow accumulation) haritasının oluşturulması, drenaj ağının belirlenmesi (stream delineation), alt havzaların belirlenmesi (watershed delineation) işlem adımları gerçekleştirilmiştir. Akış yönü, sayısal arazi modelinden; en yüksek noktadan, en alçak noktaya doğru belirlenmiştir. Şekil 3.12 (a), Doğu, Güneydoğu, Güney, Güneybatı, Batı, Kuzeybatı, Kuzey, Kuzeydoğu olmak üzere akış yönlerini göstermektedir.

Yüzeysel akış miktarı değeri; dere üzerindeki pikseller olarak tanımlanan hücreye gelen akışı sağlayan hücrelerin sayısını gösterir. Bu hücreye, akış sağlayan drenaj alanı ise; yüzeysel akış miktarı değeri ile hücre alanının çarpılması ile elde edilir. Yüzeysel akış miktarı; Arc View yazılımının Hydro modülü kullanılarak grid yapıdaki SYM den drenaj ağının sayısallaştırılması işlemi için kullanıcı tarafından belirlenen bir eşik değere göre hesaplanmaktadır. Bu eşik değer, akış biriktirmesinin olmadığı 0 (sıfır) değeri ile yazılımın tüm havza için belirlediği maksimum hücre değeri arasında yer alan herhangi bir değer olabilir. Sayısallaştırmanın gerçekleşmesi için hücredeki yüzeysel akış miktarı değeri yukarıda açıklanan eşik değerden büyük olmalıdır. Eşik değerinin küçük olması durumunda fazla sayıda drenaj ağı oluşur (Özdemir, 2007). Bu çalışmada minimum akış biriktirmesinin değerlendirilmesi amacı ile 1 (bir) değeri, eşik olarak alınmıştır. Bu işlem adımından sonra, havzanın sentetik drenaj ağı oluşturulmuştur (Şekil 3.12 (b)). Akış yönü ve yüzeysel akış miktarı haritalarının tanıtılması ile aktif olarak kullanılan CBS modülü sayesinde drenaj ağının çıkarımı, dere kolu başlangıçlarını manüel olarak tanımlamak koşulu ile otomatik olarak sağlanmaktadır. Bir sonraki işlem adımında ise bu santral noktalarını besleyen havza alanları üretilmiş ve böylece 98 adet alt havza vektör formatında oluşturulmuştur (Şekil 3.12 (d)).



Şekil 3.12: Solaklı havzasına ait (a) akış yönü haritası; (b) sentetik drenaj ağı; (c) muhtemel istasyon noktaları (d) istasyon noktalarına ait alt havzaların gösterimi.

Oluşturulan alt havzalarda debi hesabını gerçekleştirebilmek için, bu alt havzalara ait topografik parametrelerin belirlenmesi aşamasına geçilmiştir. Çalışmanın bu aşamasında topografik parametreler olarak havzaya ait; alan, evre, minimum, maksimum ve ortalama yükseklik bilgileri ile havzaların ait olduğu santral noktalarının üç boyutlu koordinatları grid yapıdaki SYM verisinden hesaplanmıştır (izelge 3.5). Bu bilgiler hem havzaya ait vektör verinin hem de santral noktalarını ifade eden nokta verisinin öznitelik izelgelerina yazdırılarak, sorgulamaya hazır hale getirilmiştir.

Su potansiyelinin belirlenmesinde belirleyici ikinci parametre olan düşüm yüksekliğinin belirlenmesi işlemini gerçekleştirmek amacı ile ilk olarak sentetik drenaj ağının alt havza sınırlarından kesilmesi ile oluşturulan vektör parçaları SYM üzerinde analiz edilerek, her bir alt havzaya ait dere kollarının boy kesitleri oluşturulmuştur. Bu boy kesitler yardımı ile alt havza boyunca dere yatağının topografik parametrelerinin tanımlanması ve yükseklik değişimine bağlı olarak belirli bir alt limitle düşüm yüksekliklerinin analizi gerçekleştirilebilmektedir.

Çizelge 3.5: Alt havzaların bir kısmına ait topografik parametreler.

NO	X (m)	Y (m)	Z (m)	Alan (m ²)	Çevre (m)	MinH(m)	MaxH(m)	OrtH(m)
S1	622046,51	4491529,79	2272,43	10690895,48	15903,37	2272,06	3385,00	2775,43
S2	619845,25	4491646,63	1970,88	15608437,32	19768,14	1970,00	3385,00	2655,34
S4	621819,48	4489297,32	2559,47	5603904,85	10669,46	2559,31	3380,00	2931,86
S5	619860,93	4488922,81	2321,34	11457623,73	14869,79	2321,63	3380,00	2841,92
S6	618895,04	4489856,64	2052,35	25797224,02	23503,99	2051,59	3380,00	2732,95
S7	618928,58	4492053,67	1795,23	46924898,47	30492,37	1794,75	3385,00	2641,94
S8	619793,87	4493555,67	1931,13	105592236,63	14286,53	1931,83	3170,00	2556,13
S9	618291,68	4489055,29	2305,89	4182591,57	9198,92	2305,20	3070,00	2689,34
S10	616935,08	4492096,67	1550,00	69441353,16	39454,03	1550,00	3381,22	2548,48
S11	614615,14	4490316,46	1730,00	14377351,96	17564,45	1728,23	3190,00	2516,51
S12	614424,89	4492176,76	1400,00	98503960,19	44723,47	1400,00	3385,00	2466,95
S13	610546,08	4493832,30	1630,00	11880035,07	17261,61	1630,00	2755,00	2293,76
S14	611754,13	4494654,55	1180,00	131398232,18	55964,77	1180,00	3385,00	2364,48
S15	610665,88	4497105,30	1130,00	141569731,78	58307,19	1129,79	3381,22	2316,54
S16	608425,63	4498475,86	980,00	166549689,03	67952,59	980,00	3385,00	2247,66
S17	607494,13	4499155,94	890,00	180526874,99	72004,32	890,00	3381,71	2211,21
S18	607362,11	4499709,90	863,98	182770522,94	72657,39	864,62	3381,22	2202,65
S19	607010,37	4501215,03	780,00	189635410,66	73812,84	780,00	3385,00	2172,11
S20	606391,61	4502588,50	684,65	208758928,79	76851,54	685,25	3382,95	2124,55
S21	606227,89	4503703,70	614,80	214677884,26	77783,45	614,33	3381,22	2101,05
S23	605843,82	4489654,39	1730,00	36851962,89	27301,63	1730,00	3080,00	2417,72
S24	604104,81	4489216,74	2010,00	15874621,08	17562,76	2010,00	2730,00	2322,72
S25	605195,18	4490536,69	1480,86	55112840,09	35636,52	1480,66	3080,00	2370,21
S26	604045,24	4491876,95	1230,00	62371799,00	36115,12	1230,00	3077,49	2325,35
S27	603834,94	4492516,67	1180,00	69521837,10	38061,06	1180,00	3077,49	2307,59
S28	602886,15	4494058,21	1050,00	79286391,71	41854,47	1050,00	3080,00	2229,33
S29	602484,45	4495596,00	981,30	83472223,54	43471,34	981,26	3080,00	2189,00
S30	599985,15	4490085,98	1880,00	17946472,59	20221,98	1880,00	2748,70	2318,42
S31	600605,88	4491465,93	1740,00	22949995,65	25005,22	1740,00	2748,70	2278,38
S32	600565,02	4492376,51	1600,00	24305086,60	26087,25	1600,00	2748,70	2259,03
S33	600855,03	4494048,03	1233,03	26417924,65	29416,09	1233,03	2748,70	2210,71
S34	601295,08	4494921,22	1090,00	27792348,71	31816,59	1090,00	2748,70	2169,38
S35	602199,44	4496221,30	960,00	113339431,98	51554,93	960,00	3080,00	2166,23
S36	602087,49	4497300,75	930,00	117270999,05	53827,27	930,00	3080,00	2143,06
S37	595724,67	4485836,51	2040,00	13291783,62	17619,43	2040,00	2820,00	2405,75
S38	596456,70	4487576,23	1920,00	17066675,53	20207,91	1920,00	2820,00	2354,75
S39	596524,97	4488925,66	1805,75	29936284,49	23235,70	1805,75	2820,00	2292,15
S40	596968,17	4489913,59	1740,00	36215755,71	27594,36	1736,65	2820,00	2275,35
S41	597594,92	4491056,72	1539,39	47711811,39	34775,73	1539,34	2820,00	2242,68
S42	598795,04	4491736,76	1350,00	50842900,51	37086,76	1350,00	2820,00	2216,76
S43	599254,94	4492827,11	1250,00	59939999,39	38417,84	1250,00	2820,00	2177,00
S44	599889,33	4493977,90	1160,00	63551436,90	40536,34	1160,00	2820,00	2146,04
S45	600115,18	4495536,09	1070,00	68921071,43	43377,77	1070,00	2820,00	2107,86
S46	600474,87	4496646,71	1010,00	86887690,71	50008,97	1010,00	2820,00	2076,70
S47	597854,81	4497186,82	1511,84	10693376,74	15152,59	1511,84	2465,00	2172,23
S48	599254,13	4496886,75	1207,65	15414625,69	18925,06	1207,32	2465,00	2066,25
S50	601485,24	4497911,49	920,00	91303601,99	51470,57	920,00	2820,00	2045,66

3.3.2 Eşyağış haritalarının oluşturulmasında kullanılan yöntemler

Debi-süreklilik denklemlerinin çıkarılması için gerekli bağımsız değişkenlerden biri de yağıştır. Yağışın; denklemlerin çıkarılmasında kullanılacak AGİ noktalarındaki ortalamasının bulunması için 12 adet aylık ve 1 adet yıllık olmak üzere eşyağış haritaları çizilmiştir. Haritalar çizilirken ArcView 3.2 yazılımından yararlanılmıştır.

Akışın tahmin edilmesinde çoklu regresyon analizi kullanılmış ve havza içersindeki yağış akış istasyonları birbirleriyle ilişkilendirerek uygun denklemler çıkarılmıştır. Bu denklemler doğrusal ve üstel olmak üzere ilk adımda yağış ve alan değişkenleri ikinci adımda ise bu değişkenlere ek olarak havza ortalama yüksekliği de katılmıştır.

Ancak yağış akış ilişkisinin daha doğru kurulması açısından eşyağış eğrilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Eşyağış eğrilerinin (izohiyet) çizilmesinde, nokta yağışı ölçümlerinin alansal olarak temsil edilmesi, sistemin yayılı hale getirilmesi yani uzaysal değişimlerin göz önüne alınması açısından önemlidir. Bevan ve Hornberger (1982) yağışın uzayda dağılımının doğru olarak tanımlanmasının akımların da doğru olarak modellenmesi için önkoşul olduğunu belirtmişlerdir ki benzer yorumlar Dawdy ve Bergmann (1969) ve Wilson ve diğ. (1979) tarafından da yapılmıştır.

Nokta ölçümlerinden ortalama alan yağışının bulunmasında kullanılan yöntemler üç temel grupta incelenebilir. Bunlar: grafik, topografik ve sayısal yöntemlerdir (Daly ve diğ., 1994). Grafik yöntemler Thiessen çokgeni ya da eşyağış eğrilerini içerirken; topografik yöntemler nokta yağışı ölçümleri ile yükseklik, enlem, boylam, eğim, rüzgâr hızı ya da yönü, engeller gibi bir takım topografik değişkenlerin ilişkisini içeren yöntemlerden oluşur. Sayısal yöntemler ise Ağırlıklı Ters Mesafe (Inverse Distance Weighted-IDW), Polinomial, Radyal Tabanlı Fonksiyon (Radial Basis Function-RBF), Splines ve Kriging'i içerir.

Her bir yöntemin kendi içersinde bir takım üstünlük ve zayıflıkları mevcuttur. Söz gelimi, Thiessen çokgeni basit ve sıkça kullanılan bir yöntem olmasına rağmen, dağlık bölgelerde orografinin yağış üzerindeki etkisi nedeniyle uygulanması uygun değildir (Goovaerts, 1999). Thiessen gibi IDW yöntemi de topografik etkileri göz önüne almaz. Bu eksiklik eşyağış eğrileri yöntemi ile giderilebilir ancak izohiyet yönteminin zayıf yönü kapsamlı bir yağış ölçüm ağına sahip olması gerekliliğidir (Goovaerts, 1999). Tobias ve Salas'a (1985)göre Polynomial yöntem Thiessen ve

IDW ile karşılaştırıldığında daha kötü sonuçlar vermektedir. Spline yönteminin ise ani değişimlerin mevcut olmadığı yüzeylerde kullanılması uygundur (Russo, 2004).

Kriging uzay bilgisinin kaybolmasına izin vermeyen bir jeostatistik yöntemdir. Yukarıda adı geçen yöntemlere göre daha zor olmasına rağmen özellikle düşük yoğunluklu ve düzensiz dağılmış istasyon ağlarından elde edilen veriler için oldukça uygundur. Nitekim Kriging pek çok araştırmacı tarafından tercih edilen bir yöntemdir, Delfiner ve Delhomme (1973); Tabios ve Salas (1985); Lebel ve diğ. (1987); Saveliev ve diğ. (1998); Goovaerts (1999, 2000); Campling ve diğ. (2001); Lloyd (2005); Cheng ve diğ. (2007) tarafından kullanılmıştır.

Eşyağış haritaları hazırlanırken Ters Mesafe Yöntemi (Inverse Distance Weight-IDW), Lokal Polinom, Radyal Tabanlı Fonksiyon ve Kriging gibi çeşitli yöntemlerden yararlanılmıştır. Haritaların hazırlanmasında en uygun yöntem çapraz doğrulama tekniği ile bulunmuştur. Tekniğe göre öncelikle, gerçekte yağış ölçümü bilinen bir noktanın değeri etrafında bulunan komşu istasyonlarının değerlerinden tahmin edilir. Daha sonra bu tahmin değeri ile orijinal ölçüm değeri karşılaştırılır, aynı işlem tüm YGI'ler için tekrarlanarak en iyi yöntem bulunur. Buna göre, örneğin Ekim ayı için en iyi yöntem Radyal Tabanlı Fonksiyon olarak bulunurken, Kasım ayı için en iyi tahmin yöntemi Kriging'dir (Çizelge 3.6).

3.3.2.1 Ters mesafe yöntemi (Inverse distance weighted, IDW)

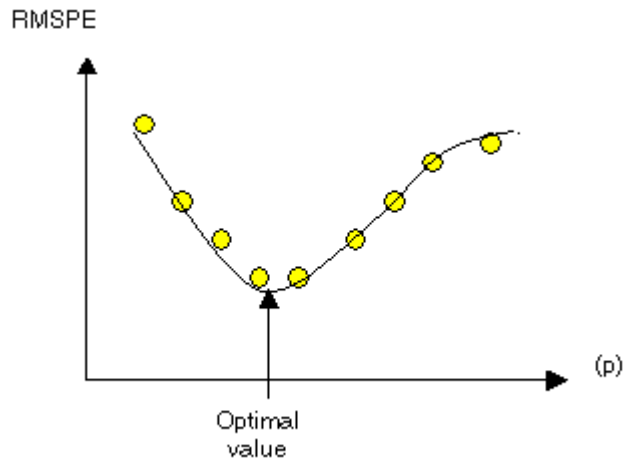
IDW interpolasyonu, bir noktadan uzaklaştıkça yakına nazaran benzer özelliklerin azalacağı varsayımından yola çıkar. Herhangi bir ölçülmemiş yer için değer öngörürken IDW öngörülecek yeri çevreleyen yerlerin bilgisini kullanır. Bu ölçülmüş değerler öngörüsü yapılacak yere en yakın değerler olup, öngörüsü yapılan yeri daha uzak yerlere göre daha çok etkiler. Böylece, IDW ölçülmüş her bir noktanın uzaklıkla azalan lokal bir etkisi olduğunu varsaymaktadır. Öngörüsü yapılacak olan yere daha yakın olan noktaların ağırlıkları daha uzak olan noktalara göre daha fazladır.

3.3.2.2 Üs fonksiyonu

Optimum üs değeri (p) kök-ortalama-kare (Root-Mean-Square Error, RMSPE) öngörü hatasını minimize edecek şekilde belirlenir. RMSPE çapraz doğrulama yöntemi kullanılarak hesaplanan bir istatistiktir. Çapraz doğrulama yönteminde her bir ölçülmüş nokta taşınır ve öngörülen değer ile karşılaştırılır. RMSE öngörülen yüzey için hatayı belirtir. *Jeoistatistiksel Analist* modülü birçok üs fonksiyonunu

deneyerek IDW için minimum RMSE değerini elde ettiği üs fonksiyonunu kullanır. Şekil 3.13'te *Jeoistatistiksel Analistin* optimum üs fonksiyonunu nasıl hesapladığını göstermektedir. RMSPE aynı veri seti için pek çok farklı üs fonksiyonunu plot eder. Noktalardan oluşturulan eğriden en düşük RMSPE'yi veren optimum değer optimum üs olarak belirlenir.

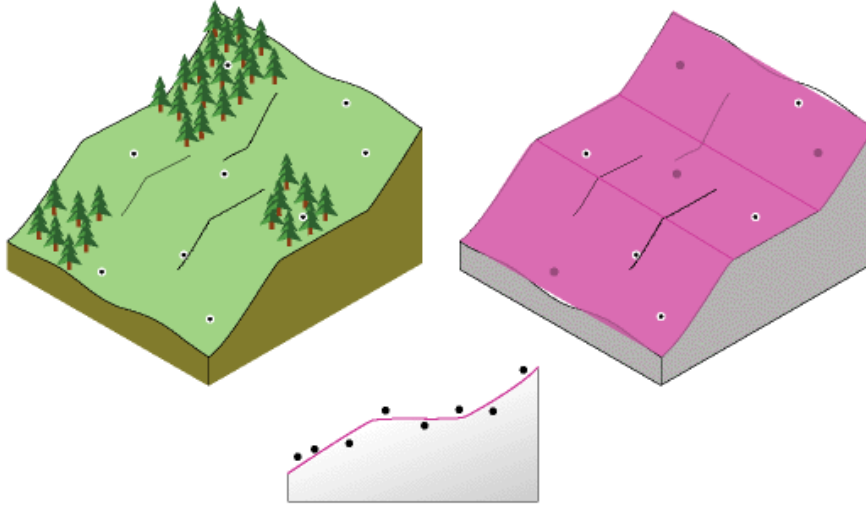
Ağırlıklar uzaklıkla ters orantılıdır, üs değeri, p , arttıkça artar. Sonuç olarak, uzaklık arttıkça ağırlık azalır, ağırlığın ne kadar hızlı azalacağı ise p değerine bağlıdır. Eğer $p = 0$, uzaklıkla azalma olmaz. Ağırlık, λ_i , aynı kalacağı için öngörülen değer tüm ölçülmüş değerlerin ortalaması olacaktır. Üs değeri, p , arttıkça uzak noktaların ağırlıkları azalır. Eğerki p değeri çok yüksekse, sadece yakın çevresindeki birkaç nokta öngöründe kullanılacaktır.



Şekil 3.13: *Jeoistatistiksel Analistin* optimum üs fonksiyonunu nasıl hesapladığını göstermektedir (ESRI, 2008).

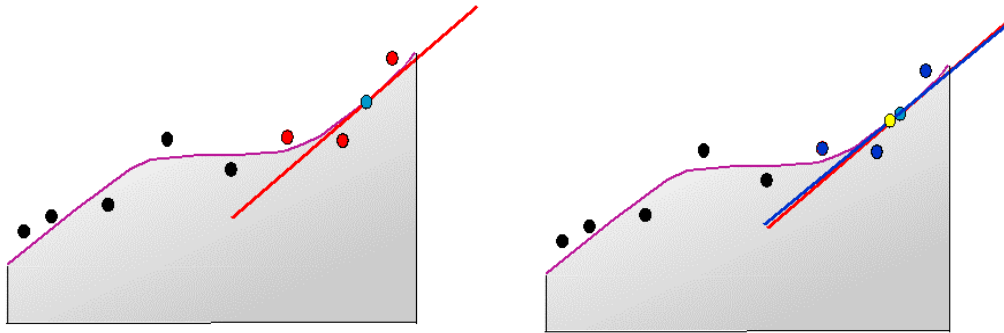
3.3.2.3 Lokal polinom interpolasyon yöntemi

Çalışmanın yapıldığı alanda Şekil 3.14' te olduğu gibi eğimin ardından düzlük ve sonrasında tekrar eğim varsa, bu alan için ölçülmemiş değerler göz önünde bulundurulduğunda, bu alana düz yüzey oturtulması uyumsuz sonuçlar verirdi. Fakat, üst üste binen pek çok küçük düzlem kullanılarak düzlem merkezlerinin her bir lokasyonu temsil etmesi halinde sonuç olarak elde edilecek yüzey daha esnek ve yüksek doğruluklu olacaktır. Bu temel konsept Lokal Polinom İnterpolasyonunun temelini oluşturmaktadır.



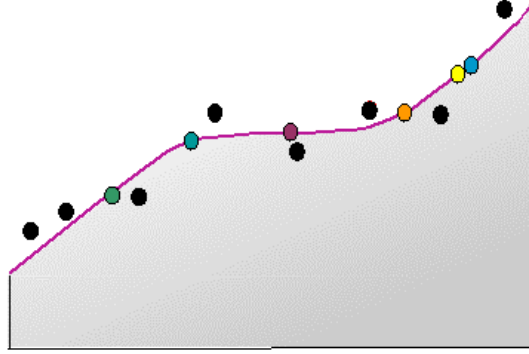
Şekil 3.14: Lokal Polinom İnterpolasyonu kullanılarak eğimli-düz-eğimli tipteki bir arazinin modellenmesi (ESRI, 2008).

Lokal Polinom interpolasyon, sadece tanımlı komşuluk ilişkisi içerisinde yer alan bütün noktaları kullanarak belirlenmiş derecedeki polinoma (sıfır, birinci, ikinci, üçüncü vb.) oturur. Komşular örtüşür ve her bir öngörü için kullanılan değer komşuluğun merkezine oturan polinomun aldığı değeri alır. Şekil 3.15'te kesiti alınan örnek yükseklik verisi görülmektedir. İlk şekilde üç komşu (kırmızı noktalar), birinci derece polinomu oturtmak için, çizgi ise (kırmızı çizgi) mavi nokta ile tanımlanan yer bilinmeyen değeri öngörmeye kullanılır. İkinci şekilde sarı nokta ile gösterilen ikinci bir yer başka bir birinci derece polinomu öngörmeye kullanılır. İlk noktaya (mavi nokta) çok yakın olup, öngörüsünde aynı ölçülmüş değerler kullanılır, ancak ağırlıklar fark edeceğinden polinom oturmalarında çok az da olsa fark meydana gelir.



Şekil 3.15: Lokal polinom interpolasyonu ile bilinmeyen değerlerin öngörülmesi (ESRI, 2008).

Bu süreç, takip eden öngörü yerlerinin merkezinde toplanıp lokal polinomlar oturtularak değerler öngörülene kadar devam eder. Şekil 3.16'da örnek noktalar kullanılarak yüzeyin nasıl belirlendiği görülmektedir.



Şekil 3.16: Lokla Polinom İnterpolasyonu ile elde edilen sonuç yüzeyi örneği (ESRI, 2008).

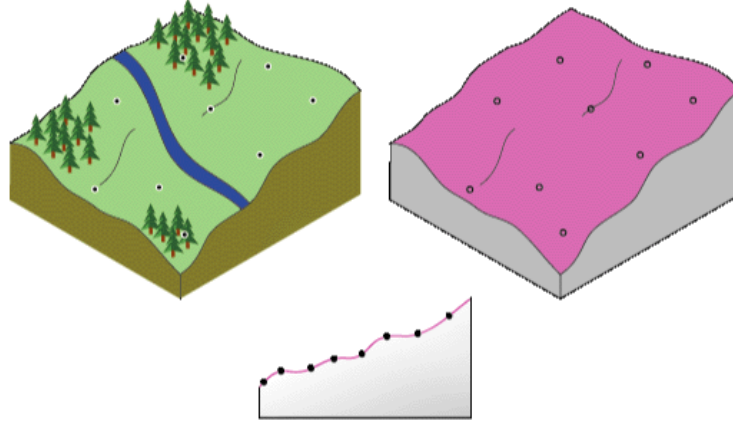
Bu model farklı parametreler kullanılarak hesaplanan yüzey çıktılarına çapraz doğrulama tekniği ile iteratif olarak optimize eder. Optimum parametreler Root-Mean-Square (kök-ortalama-kare) öngörü hatasını minimize edecek şekilde seçilir.

3.3.2.4 Radyal temelli fonksiyon (Radial basis function, RBF) metodu

RBF metodları kesin interpolasyon teknikleri serisidir; öngörülen yüzey her bir ölçülmüş noktadan geçmek zorundadır. Beş farklı temel fonksiyon vardır:

- İnce-Plaka Eğri (Thin-plate spline)
- Gerilimli Eğri (Spline with tension)
- Tamamen Düzenlenmiş Eğri (Completely regularized spline)
- Çoklu İkinci Dereceli Fonksiyon (Multiquadric function)
- Ters Çoklu İkinci Dereceli Fonksiyon (Inverse multiquadric function)

Her bir temel fonksiyon çok az farklı interpolasyon yüzeyleri için dahi farklı şekil ve sonuçlar verir. RBF yapay sinir ağlarının bir formudur. Konsept olarak plastik bir zarın, yüzeyin kavisli yapısını minimize edecek şekilde ölçülmüş noktalardan geçirilmesi üzerine kuruludur. Seçilmiş temel fonksiyonlar plastik zarın ölçülmüş noktalara nasıl oturacağını belirler. Şekil 3.17'de, örnek yükseklik verileri kullanılarak RBF yüzeylerinin nasıl elde edildiğini göstermektedir. Kesite bakıldığında oluşturulan yüzeyin tüm örnek noktalardan geçtiği görülmektedir.



Şekil 3.17: Örnek yükseklik verileri kullanılarak RBF yüzeylerinin elde edilmesi (ESRI, 2008).

RBF'ler çok sayıda verinin olduğu pürüzsüz yüzeyler için tercih edilen bir yöntemdir. Bu fonksiyonlar yavaşça değişen yüzeyler için iyi sonuçlar vermektedir. Kısa yatay mesafede ya da veride hata olması halinde bu tekniğin kullanılması uygun değildir.

3.3.2.5 Kriging yöntemi

Kriging ilk kez D. G. Krige tarafından kullanılmıştır. Bu teknik başlangıçta yerbilimleri uygulamaları için geliştirilmiş olup günümüzde yağışın haritalanmasında da sıkça kullanılmaktadır.

Yöntem bilinen ölçüm noktalarından bilinmeyen noktaların bir yarı varyogram yardımıyla hesaplanması esasına dayanır. $x_1, x_2, \dots, x_n$ örnek (istasyon) noktaları ve bu noktalardaki yağış değerleri $Z(x_1), Z(x_2), \dots, Z(x_n)$ olarak, $Z(x_o)$ ise hesaplanmak istenen yağış değeri olarak düşünülürse; $Z(x_o)$ değeri etrafında konumlanmış n adet bilinen yağış değerinin ağırlıklı bir kombinasyonu olarak yazılabilir (Denklem 3.2).

$$Z^*(x_o) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (3.2)$$

Denklem 3.2'de λ_i ; ağırlıkları, $Z^*(x_o)$ ise $Z(x_o)$ değerinin tarafsız (unbiased) halini temsil etmektedir ve bu farkın beklenen değerinin sıfır olması gerekmektedir (Denklem 3.3). Yine aynı şekilde bu farkın kestirilen varyansının beklenen değeri ise minimum olmalıdır (Denklem 3.4).

$$E[Z^*(x_o) - Z(x_o)] = 0 \quad (3.3)$$

$$E[Z^*(x_o) - Z(x_o)]^2 \Rightarrow \text{minimum} \quad (3.4)$$

Denklem 3.2, Denklem 3.3 ve 3.4 ile birleştirilirse Denklem 3.5 ve 3.6 elde edilir.

$$E\left[\sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) - Z(x_o)\right] = 0 \quad (3.5)$$

$$E\left[\sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) - Z(x_o)\right]^2 \Rightarrow \text{minimum} \quad (3.6)$$

En uygun λ_i ağırlıklarının belirlenmesi

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i C(x_i, x_j) + \mu = C(x_i, x_j) \quad \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (3.7)$$

Denklem 3.7’de gösterilen doğru sisteminin çözülmesiyle elde edilir ki bu sisteme Kriging adı verilir. Burada $C(x_i, x_j) = E[Z(x_i)Z(x_j)]$ kovaryans² ve μ ise Lagrange çarpanıdır.

Bir kriging sisteminde kestirilen varyans iki örnek noktası arasındaki fark olarak tanımlanabilir. $C(x_i, x_j)$ yerine $\gamma(x_i, x_j)$ konursa;

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(x_i, x_j) + \mu = \gamma(x_i, x_j) \quad \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (3.8)$$

elde edilir. $\gamma(h)$ yarı varyogram olarak adlandırılır;

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E[(Z(x+h) - Z(x))^2] \quad (3.9a)$$

ya da

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} \text{var}(Z(x+h) - Z(x)) \quad (3.9b)$$

olarak tanımlanır. h iki örnek noktası arasındaki mesafeyi gösterir (zaman zaman *lag* olarak da adlandırılır), $\text{var}()$ ise varyansı temsil eder (Karnieli, 1990).

Özet olarak, kriging yönteminde en uygun ağırlıkları bulmak için, ölçme noktaları arasındaki konumsal bağımlılığın bilinmesi gerekir. Bu konumsal bağımlılık ya bir

² Kovaryans, iki rasgele değişkenin beraber değişimlerini inceler. Örneğin, eğer değişkenler birbirinden bağımsızsa kovaryans sıfırdır.

kovaryans fonksiyonu ya da bir variogram fonksiyonu kullanmak suretiyle tanımlanabilir.

Varyogram, uzayda farklı noktalardaki değişkenler arasındaki var olan bağımlılığı karakterize eden bir fonksiyondur. Kriging ağırlıkları ise varyogram modelinin doğrudan bir fonksiyonudur. Herhangi bir çalışma bölgesinde enterpolasyon olarak kriging kullanılacaksa bu durumda seçilen varyogram modeline ait parametreler bilinmeli ya da çalışma bölgesinde bulunan verilerden yararlanarak deneysel varyogram modeli oluşturulmalıdır. Elde edilen bu deneysel varyogram modelinden yararlanarak teorik modele ait bilinmeyen parametreler belirlenmelidir (İnal ve Yiğit, 2003).

Varyogram deneysel olarak oluşturulabileceği gibi (yani belli uzaklıklar için varyogram değerlerinin hesaplanması) teorik varyogram modellerinden de yararlanılabilir. Bu modeller doğrusal, üssel, küresel, Gaussian vb. olabilir.

Belli uzaklıklar için yarı varyogramlar hesaplandıktan sonra aşağıdaki denklem takımı kurularak λ_i ağırlıkları hesaplanır ve bilinmeyen noktanın yağış değeri bulunmuş olur. $\gamma(h_{no})$ hesaplanması istenen nokta ile ölçüm noktaları arasındaki yarı varyogram değerini temsil eder.

[illegible]

Günümüzde kriging yönteminin değişik türleri yaygınca kullanılmaktadır. Kullanılan bu kriging türleri orijinal isimleriyle aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir.

- Basit (Simple) Kriging
- Düzenli (Ordinary, Punctual) Kriging
- Genelleştirilmiş (Universal) Kriging
- Blok (Block) Kriging
- Belirleyici (Indicator) Kriging
- Ayırıcı (Disjunctive) Kriging
- Yardımcı (Cokriging) Kriging

3.3.3 Eşyağış haritalarının çizilmesi

Yağışın; akı denklemlerinin çıkarılmasında kullanılacak AGİ noktalarındaki ortalamasının bulunması için 12 adet aylık ve 1 adet yıllık olmak üzere eşyağış haritaları çizilmiştir. Haritalar çizilirken ArcGIS v.9.2 yazılımından yararlanılmıştır. Harita çizimi sırasında kullanılan YGİ'ler, Şekil 3.18'de görülmektedir. Önceki bir çalışmada (Algancı, 2008) kullanılan 11 adet YGİ yerine burada 29 adet YGİ kullanılmış yani çalışılan bölge genişletilmiş ve karşılaştırmalı yöntemler kullanılmıştır.

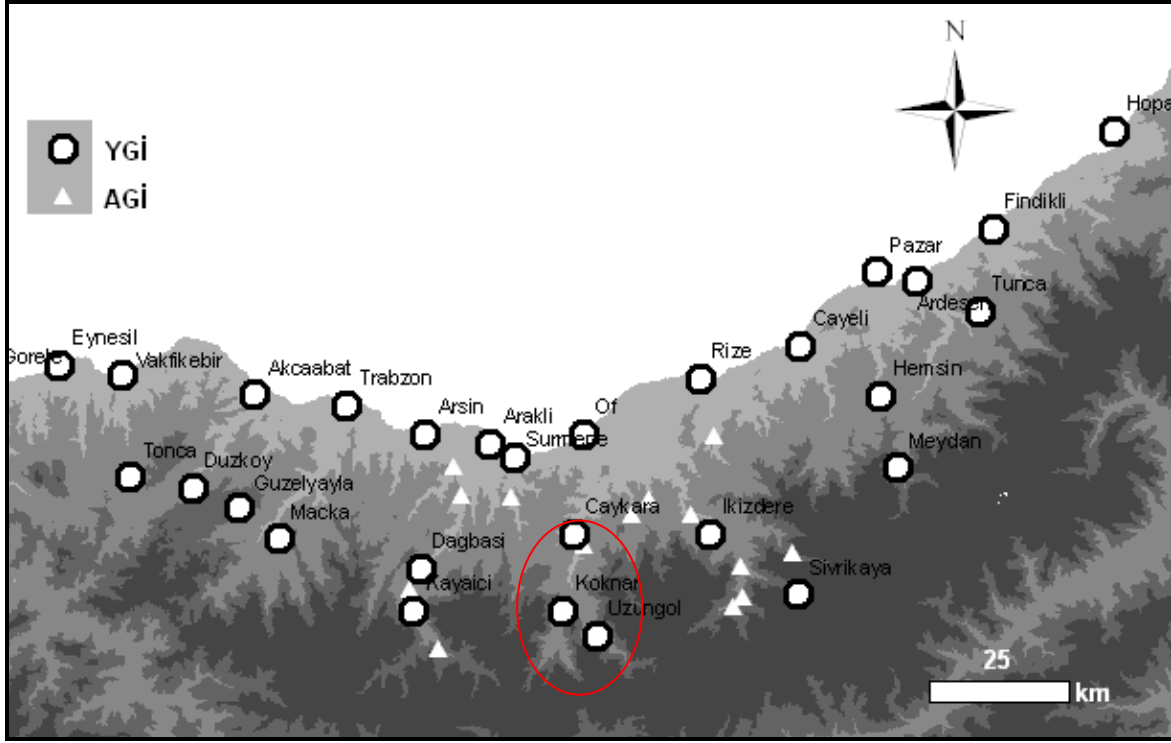
Eşyağış haritaları hazırlanırken IDW, lokal polinom, RBF ve Kriging gibi çeşitli yöntemlerden yararlanılmıştır. Haritaların hazırlanmasında en uygun yöntem çapraz doğrulama tekniği ile bulunmuştur. Buna göre, örneğin Ekim ayı için en iyi yöntem radyal tabanlı fonksiyon olarak bulunurken, Kasım ayı için en iyi tahmin yöntemi Kriging'dir. Tüm aylar ve yıllık ölçekte hangi yöntemin kullanıldığı Çizelge 3.6'da görülmektedir. Burada OHKK (Ortalama Hata Kareleri Kökü; Root Mean Square Error) mm değerinde ortalama hata karesi kökü değerini göstermektedir.

$$OHKK = ((X_{\text{tahmin}} - X_{\text{ölçülen}})^2 / N)^{0.5} \quad (3.11)$$

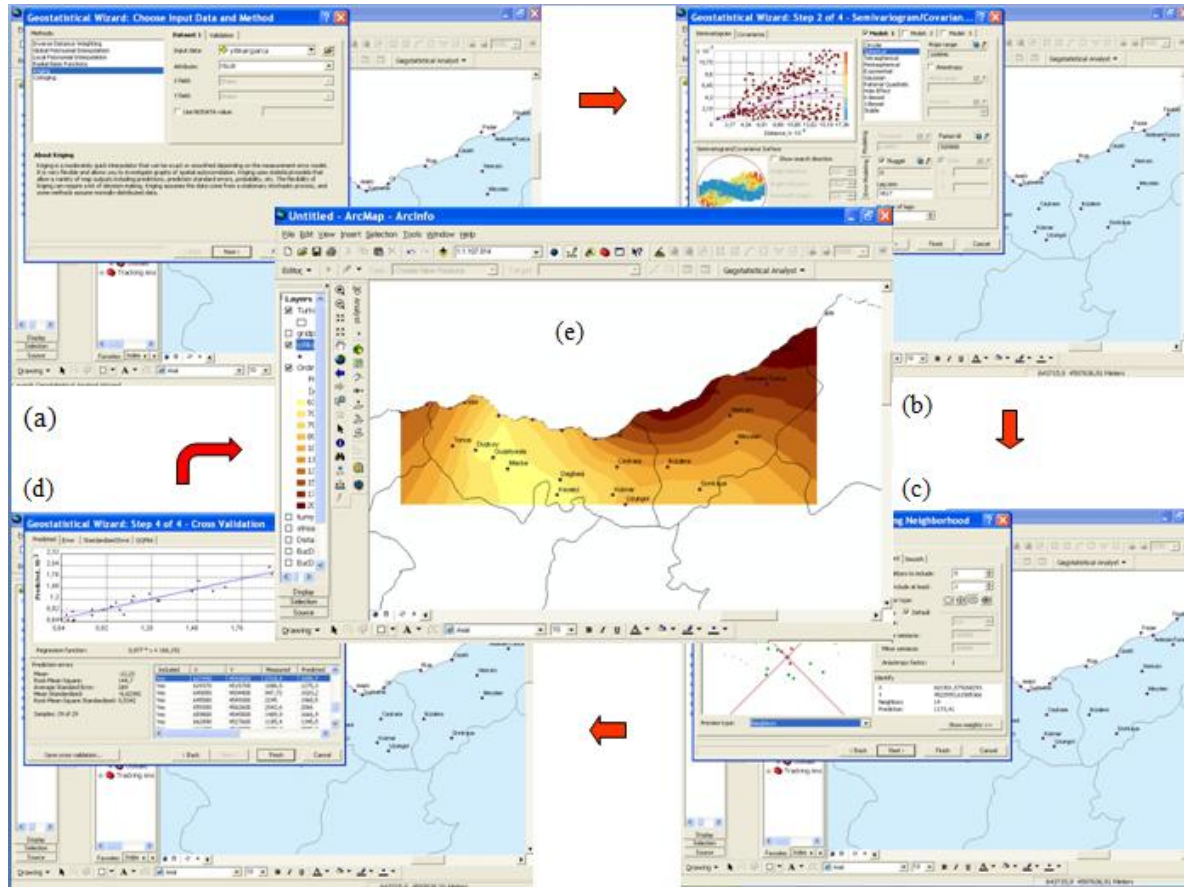
Çizelge 3.6: Aylık ve yıllık değerler için eşyağış haritalarının oluşturulmasında hangi yöntemin uygun olduğunun gösterimi.

AYLAR	KULLANILAN YÖNTEM		RMS (HATA)
EKİM	RBF	Comp. Reg.Spline	14,59
KASIM	Kriging	Ordinary	17,66
ARALIK	RBF	Spline With Tension	18,74
OCAK	RBF	Spline With Tension	16,44
SUBAT	Kriging	Ordinary	15,64
MART	Kriging	Ordinary	15,81
NİSAN	RBF	Inv.Multiquadratic	10,86
MAYIS	RBF	Spline With Tension	14,61
HAZİRAN	RBF	Spline With Tension	10,05
TEMMUZ	Kriging	Ordinary	12,33
AGUSTOS	Kriging	Ordinary	11,15
EYLUL	Kriging	Ordinary	18,11
YILLIK	Kriging	Ordinary	94,01

Örnek olarak yıllık eşyağış haritasının ArcGIS ortamında *Geostatistical Wizard* modülü kullanılarak Ordinary Kriging yöntemiyle elde edilmesi Şekil 3.19'da şematize edilmiştir.

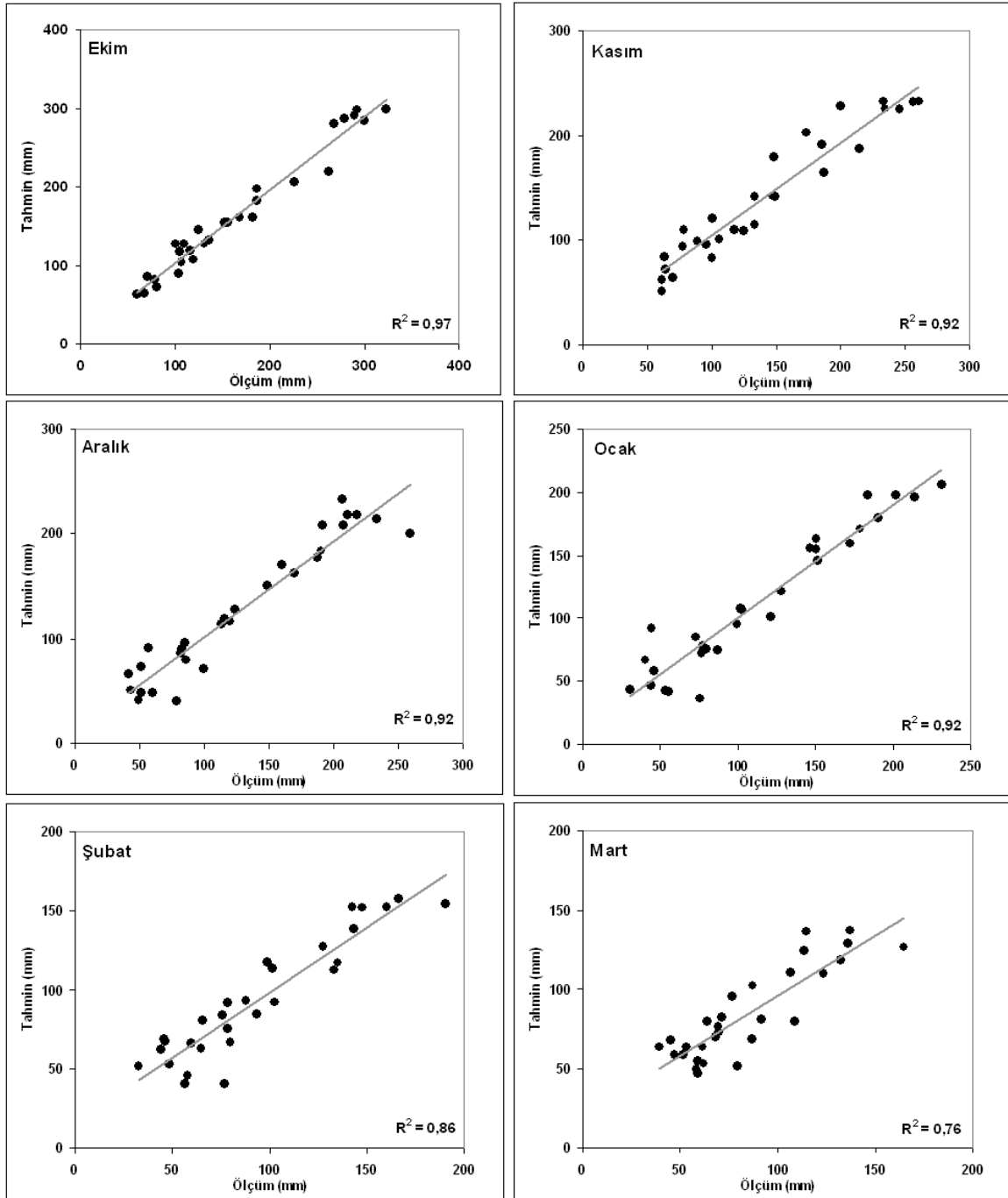


Şekil 3.18: Eşyağış haritalarının çiziminde kullanılan yağış gözlem istasyonları (YGİ), Kırmızıyla işaretlenmiş bölgedeki üçgenler akım modellemesinde kullanılan akım verilerinin alındığı AGİ'leri göstermektedir.

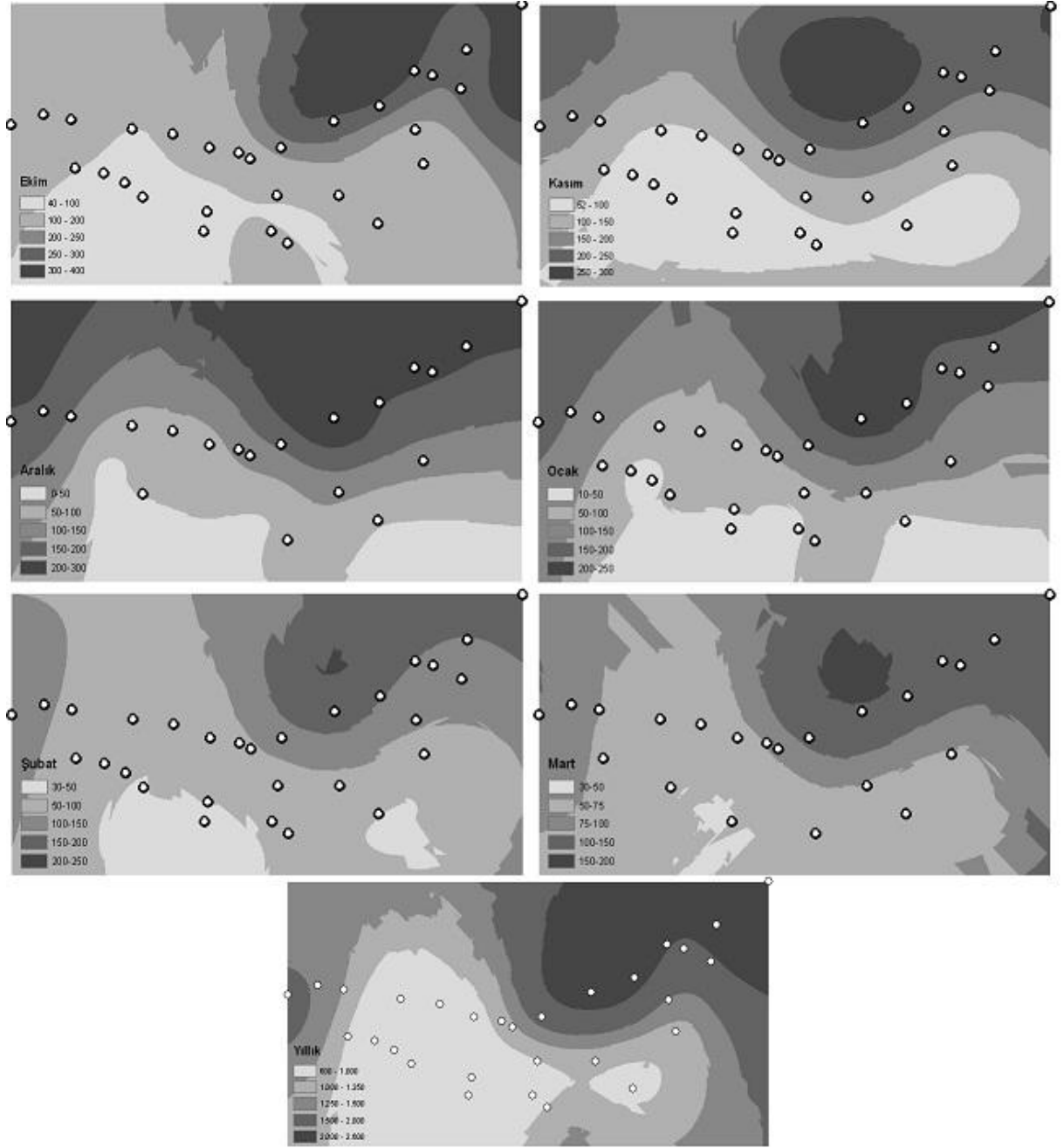


Şekil 3.19: Yıllık eşyağış haritasının ArcGIS ortamında *Geostatistical Wizard* modülü kullanılarak Ordinary Kriging yöntemiyle elde edilmesi; (a) Uygun jeoistatistiksel metodun seçilmesi; (b) Seçilen jeoistatistiksel metodun hangi tipinin veriye daha uyumlu olduğunun seçilmesi; (c) Tahmin edilecek değer için çevreden kaç gözlem verisinin alınmasının seçilmesi; (d) Kullanılan jeoistatistiksel yöntemin tahmin ve gözlem arasındaki ilişkinin gösterilmesi; (e) Eşyağış eğrilerinin çizdirilmesi.

Çapraz doğrulamaya ait ölçüm-tahmin grafikleri su yılının ilk 6 ayı için Şekil 3.20’de verilmiştir. Belirlenen yöntemlere göre çizilen eşyağış haritaları ise yine su yılının ilk 6 ayı ve yıllık ortalama değerler için Şekil 3.21’de verilmiştir.



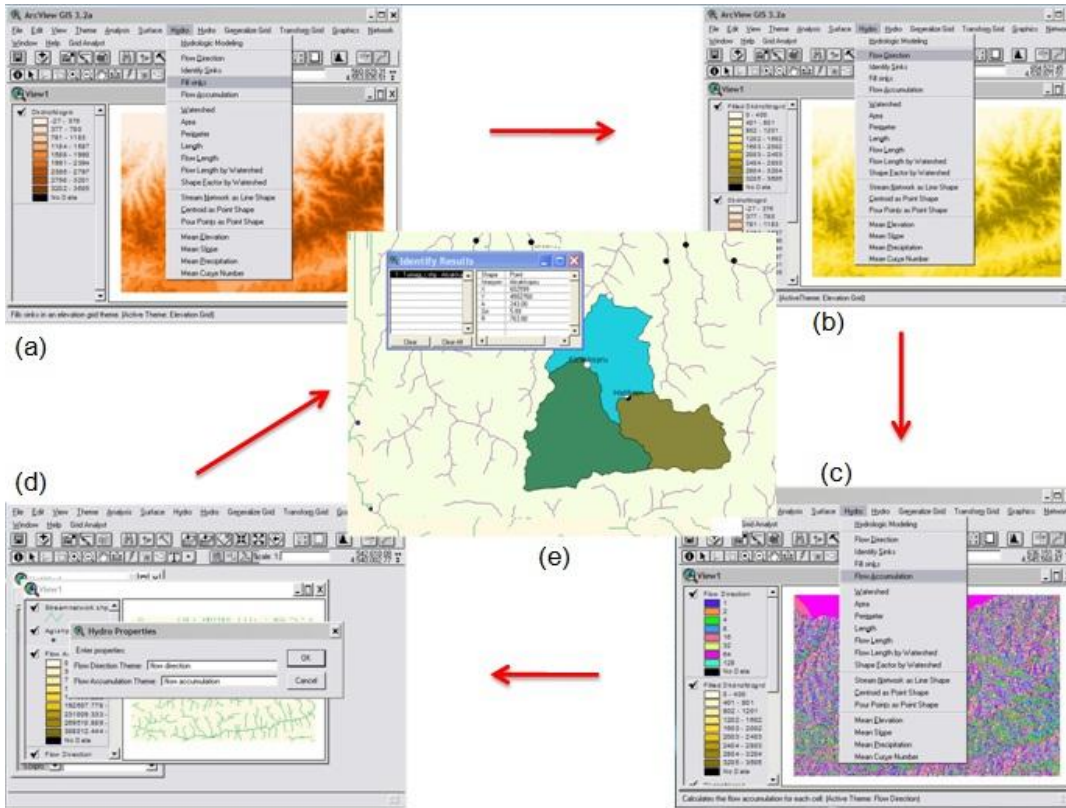
Şekil 3.20: Su yılının ilk 6 ayına ait elde edilen tahmin sonuçları ve ölçüm değerlerinin çapraz doğrulama sonuçları



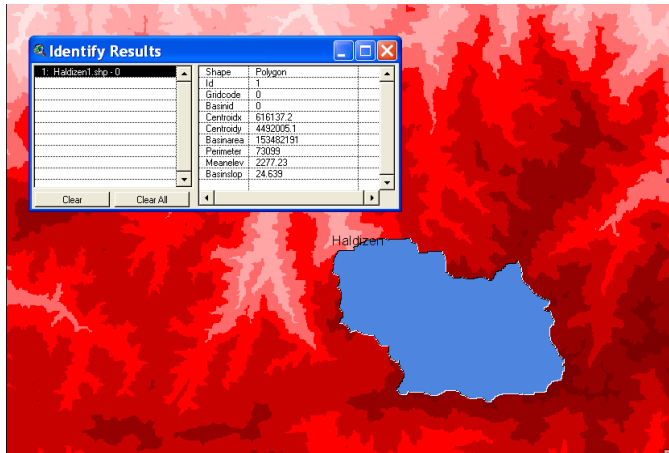
Şekil 3.21: Aylık ve yıllık eşyağış haritaları

3.3.4 Su toplama havzalarının CBS ortamında tespiti

CBS ortamında *Hydrologic Modelling* modülü kullanılarak Solaklı havzasında yer alan her bir AGİ'ye ait su toplama havzaları belirlendi (Şekil 3.22) ve AGİ'lere ait su toplama havzalarının fiziksel özellikleri (alan, çevre, ortalama yükseklik, eğim) görsel hale getirildi (Şekil 3.23).



Şekil 3.22: AGİ'lerin su toplama havzalarının CBS ortamında *Hydrologic Modelling* modülü kullanılarak tespiti; (a) Boşlukların doldurulması; (b) Akış yönünün haritası; (c) Akış birikmesi haritası; (d) Hydro modülüne özelliklerin girilmesi; (e) Su toplama havzalarının belirlenmesi.



Şekil 3.23: Haldizen AGİ'nin fiziksel parametrelerinin ArcGIS'te gösterilmesi.

3.3.5 Su toplama havzalarına ait aylık yağış yüksekliklerinin tespiti

Daha önce grid verisi olarak hazırlanan aylık eşyağış haritaları, CBS ortamında her bir AGİ'nin su toplama havzasına ait aylık yağış yüksekliklerini hesaplamada kullanılmıştır. Bu işlem için yine *Hydrologic Modelling* modülü kullanılmıştır (Şekil 3.24).



Şekil 3.24: Oluşturulan AGİ su toplama havzasının ağustos ayı eşyağış haritası kullanılarak ağustos ayı için ortalama yağış yüksekliğinin *Hydrologic Modelling* modülü kullanılarak hesaplanması ve gösterilmesi.

3.4 Regresyon Analizi ile Akımın Denklemlerinin Oluşturulması

Yıllık ortalama akımın bulunmasında sıkça kullanılan en basit yöntem havza alanı oranı metodu olarak da bilinen birim alan debisidir. Havza çıkışında ya da yakınında gözlenmiş olan akım değeri toplanma alanına bölünerek birim alana düşen debi değeri hesaplanmaktadır. Bu debinin sabit olduğu kabul edilerek herhangi bir alt havzada toplanan debi alt havza alanları birim alan debisi ile çarpılarak elde edilmektedir.

Yıllık ortalama akımın bulunmasında kullanılabilecek bir diğer yöntem çoklu regresyon analizidir (Ağırlioğlu ve diğ., 2008). Çalışmada yıllık debinin hesaplanmasında ilk aşama olarak çoklu regresyon denklemlerinin kurulması yoluna gidilmiştir. Bu regresyon denklemlerinde bağımsız meteorolojik değişkenler olarak yağış, sıcaklık, nem, buharlaşma ve rüzgâr verilerinin kullanılması düşünülmüş ancak bu veriler, az ve kesikli olmaları nedeniyle denklemlere katılmamıştır.

Solaklı havzası, yağış istasyonlarının yerleşimine bağlı olarak üç alt havzaya bölünmüş, her bir alt havza için uygun yağış ve akış istasyonları birbirleri ile ilişkilendirilmiştir. Kullanılan istasyonların koordinat ve kotları yerinde yapılan incelemeler sonucunda belirlenmiş ve Çizelge 3.7’de gösterilmiştir.

Bu istasyonlar dışında kalan 1475-Of yağış istasyonu ile ilişkilendirilebilecek 2203-Of-Dernekpazarı AGİ'si bu yağış istasyonundan oldukça uzaktır. Diğer AGİ'ler ile ilişkilendirilebilecek yağış istasyonları bulunmamakla beraber rasat sürelerine bağlı olarak bu AGİ'lere ait oldukça az sayıda gözlem mevcuttur. Denklemler kurulurken bu istasyonlarda ölçülen nokta yağışı ve akım değerleri alınmıştır.

Çizelge 3.7: İstasyonların yerinde yapılan incelemeler sonucunda tespit edilen koordinat ve kot bilgileri

İstasyon No	İstasyon Adı	İstasyon Türü	Koordinat (UTM)		Kot (m)
			X	Y	
1801	Çaykara (3)	Yağış	604880	4511576	264
1962	Uzungöl (1)	Yağış	609071	4497483	1110
22-016	Köknar (2)	Yağış	602839	4502007	1218
22-07	Haldizen-Şerah (1)	AGİ	609060	4497459	1116
22-52	Solaklı- Ulucami (3)	AGİ	606083	4513714	243
22-57	Ögene-Alçakköprü(2)	AGİ	602599	4502760	675

**(1,2,3) birbirleriyle ilişkilendirilmiş istasyonları göstermektedir.*

Çoklu regresyon denklemleri kurulurken değişkenlerin hem dönüşümlü hem de dönüşümsüz halleri kullanılmıştır. Bağımsız değişkenler nokta yağışları (P), havza alanı (A) ve ortalama havza yüksekliği (H) alınmıştır. Sıcaklık ve nem verilerinin sayısı çok az olduğundan bu değişkenler denklemlere katılmamıştır.

Önce sadece P ve A değişkenlerini içeren doğrusal ve üstel denklemler kurulmuş, ardından bu serbest değişkenlere H da eklenmiştir. Akım tahmini için en uygun denklemin hangi bağımsız değişkeni içermesi gerektiği modelin ya da model parametrelerinin anlamlılık düzeyine göre belirlenmiştir. Regresyon analizinde adım adım regresyon tekniği kullanılmıştır. Buna göre debi;

$$Q = f(P, A, H) \quad (3.12)$$

şeklinde bir fonksiyondur ve bu değişkenlerden birini ya da birkaçını içerebilmektedir.

Solaklı havzası içerisindeki üç alt havzanın alan ve ortalama yükseklik değerleri SYM'lerden yararlanılarak ArcView yazılımı ile bulunmuştur.

Farklı şekillerde kurulan modeller için bulunan denklemler ve belirlilik katsayısı (R^2) değerleri Çizelge 3.8'de özetlenmiştir.

Çizelge 3.8: Akım denklemleri ve R² değeri.

Fonksiyon	Denklem	R ²	Denklem No
$Q = f(P, A)$	$Q = -7.843 + (0.0071 * P) + (0.025 * A)$	0.893	(3.13)
	$Q = (10^{-4.598}) * (P^{1.057}) * (A^{0.907})$	0.932	(3.14)
$Q = f(P, A, H)$	$Q = 18.692 + (0.0105 * P) + (0.0132 * A) - (0.0128 * H)$	0.904	(3.15)
	$Q = (10^{5.748}) * (P^{1.337}) * (A^{0.469}) * (H^{-3.053})$	0.937	(3.16)

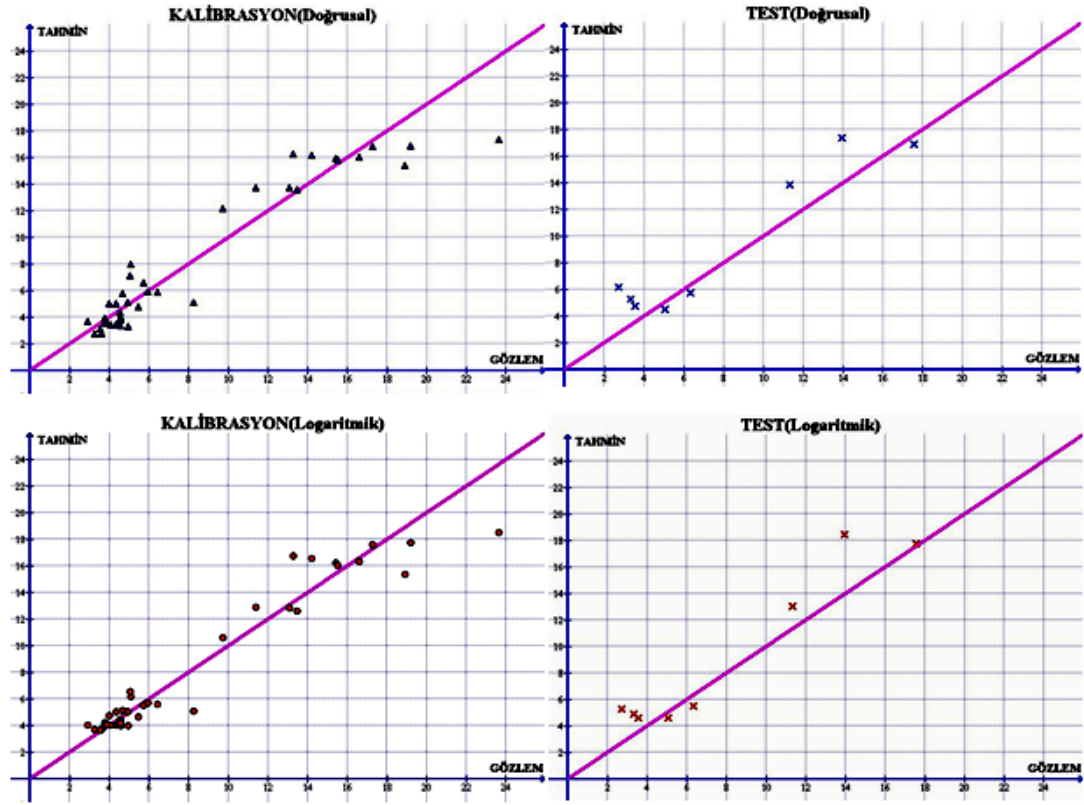
Çizelgedaki denklemler belirlilik katsayıları ile birlikte incelendiğinde; yağış, alan, yükseklik verileri ile oluşturulan 3.15 ve 3.16 no'lu denklemlerin sadece yağış ve alan verileri ile oluşturulan 3.13 ve 3.14 denklemlerinden daha doğru sonuçlar verdiği görülmektedir. Ayrıca her iki fonksiyon için oluşturulan denklemlerden logaritmik olanlar (3.14 ve 3.16), doğrusal olanlara göre (3.13 ve 3.15) daha yüksek belirlilik katsayısına sahip olup, daha doğru sonuçlar vermektedir. Bu sonuçlar göz önüne alınarak, (3.15) ve (3.16) doğrusal ve logaritmik denklemleri için akım tahminleri gerçekleştirilmiştir (Çizelge 3.9).

Bu denklemler sonucunda bulunan debi tahmin değerlerine ait saçılma diyagramları ise Şekil 3.25'te ayrı ayrı verilmiştir.

Çizelge 3.9: Doğrusal ve logaritmik regresyon denklemleri ile tahmin edilen debi değerleri

	Gözlem Debi (Q) m^3/s	DOĞRUSAL			LOGARİTMİK		
		Tahmin Debi (Q) m^3/s	Mutlak Hata m^3/s	Rölatif(Bağıl) Hata (%)	Tahmin Debi (Q) m^3/s	Mutlak Hata m^3/s	Rölatif(Bağıl) Hata (%)
Uzungöl-Haldizen Havzası	4,33	3,47	0,86	-19,90	4,04	0,29	-6,75
	4,05	3,45	0,60	-14,79	4,03	0,02	-0,48
	3,75	3,94	0,19	5,10	4,25	0,50	13,33
	3,77	3,59	0,18	-4,87	4,09	0,32	8,55
	4,54	4,39	0,15	-3,22	4,46	0,08	-1,78
	4,49	3,75	0,74	-16,40	4,17	0,32	-7,20
	5,45	4,82	0,63	-11,63	4,65	0,80	-14,68
	4,57	3,35	1,23	-26,83	3,99	0,59	-12,88
	4,96	3,32	1,64	-33,00	3,97	0,98	-19,85
	4,67	5,79	1,12	23,95	5,11	0,44	9,35
	3,87	3,54	0,33	-8,46	4,07	0,20	5,23
	3,24	2,75	0,49	-15,11	3,72	0,48	14,97
	3,61	2,82	0,79	-21,96	3,75	0,14	3,83
	5,09	7,97	2,88	56,57	6,16	1,07	21,09
	5,72	6,61	0,89	15,47	5,50	0,22	-3,93
	4,58	4,05	0,53	-11,48	4,30	0,28	-6,06
	3,99	5,02	1,03	25,77	4,74	0,76	18,96
	3,55	4,73	1,18	33,19	4,61	1,06	29,91
	2,70	6,18	3,48	129,17	5,29	2,60	96,27
	3,31	5,30	2,00	60,30	4,88	1,57	47,44
Köknar-Ögene Alçakköprü Havzası	4,34	5,06	0,72	16,56	5,02	0,68	15,68
	2,90	3,70	0,80	27,72	4,06	1,16	40,07
	3,55	3,15	0,40	-11,15	3,68	0,14	3,89
	4,93	5,11	0,17	3,53	5,06	0,12	2,49
	5,05	7,12	2,07	40,94	6,57	1,52	30,12
	8,26	5,14	3,12	-37,75	5,08	3,18	-38,49
	5,94	5,96	0,02	0,41	5,69	0,25	-4,20
	6,43	5,89	0,54	-8,35	5,63	0,79	-12,34
	4,58	3,86	0,72	-15,77	4,17	0,41	-9,02
	6,34	5,73	0,61	-9,66	5,51	0,83	-13,05
	5,03	4,50	0,54	-10,67	4,62	0,42	-8,31
Çaykara-Ulucami Havzası	15,40	15,95	0,55	3,57	16,21	0,81	5,28
	14,18	16,17	1,98	13,98	16,56	2,37	16,72
	15,52	15,85	0,33	2,14	16,06	0,54	3,48
	11,39	13,77	2,38	20,92	12,89	1,51	13,23
	13,08	13,75	0,67	5,09	12,86	0,22	-1,67
	9,71	12,18	2,47	25,46	10,60	0,89	9,20
	13,46	13,59	0,14	1,02	12,63	0,82	-6,10
	13,28	16,30	3,02	22,78	16,77	3,49	26,30
	23,63	17,40	6,24	-26,38	18,52	5,11	-21,63
	18,91	15,41	3,49	-18,47	15,38	3,53	-18,64
	19,20	16,91	2,29	-11,91	17,74	1,46	-7,61
	16,60	16,03	0,57	-3,41	16,34	0,26	-1,54
	17,27	16,83	0,44	-2,53	17,61	0,34	1,99
	17,54	16,92	0,61	-3,50	17,76	0,22	1,25
	11,33	13,87	2,54	22,46	13,05	1,72	15,17
	13,94	17,36	3,42	24,50	18,46	4,51	32,38
Mutlak Hata Ort.		1,31	4,97		1,06	5,74	

TEST



Şekil 3.25: Doğrusal ve logaritmik regresyon denklemleri sonucunda bulunan debi tahmin değerlerine ait saçılma diyagramları.

Yukarıda açıklaması yapılan 3.16 nolu logaritmik denklemle işleme sokulan istasyon verileri (ortalama yıllık yağış, alan, yükseklik) sonucunda aşağıdaki Çizelgede gösterilen akım değerleri elde edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlara göre, tahmin edilen akımların rölatif hata değerleri Çizelge 3.10'daki gibidir.

Çizelge 3.10: Model sonucunda elde edilen akım değerlerine ait rölatif hatalar (Burada P(mm)yağış, A(km²) alan, H(m) kot Q(m³/s) tahmin edilen akımı ifade etmektedir).

No	İstasyon	P	A	H	Q Tahmin	Q Ölçülen	Rölatif hata
22007	Haldizen	1171,74	154,7	2280,94	4,22	4,26	0,99
22057	Alcakkopru	946,13	243,6	2023,74	5,66	5,89	3,90
22052	Ulucami	992,89	576,8	1907,67	10,82	14,26	24,12

3.5 Hidroelektrik Potansiyelin Tespiti

Hidroelektrik potansiyelin tespit edilmesi temel olarak suyun enerjisini elektrik enerjisine çevirmektir. Topografya ve hidrolojinin bir fonksiyonu olan hidroelektrik potansiyel hesabı, topoğrafyadan suyun düşüm yüksekliği ve hidrolojiden de akım değerleri elde edilerek tespit edilir. Bir bölgenin hidroelektrik potansiyeli üç biçimde incelenmektedir: (1) Brüt potansiyel, (2) Teknik potansiyel ve (3) Teknik ve ekonomik potansiyel.

Brüt potansiyel yüzeysel akışa geçmiş olan suların denize veya ülke sınırlarına ulaşana dek meydana getirebileceği enerjiyi temsil eder. Türkiye'nin brüt potansiyeli, Dicle, Fırat, Aras, Çoruh, Meriç gibi nehirlerin denize dökülmeden önce sınırlardan çıktığı varsayımı ile, yüzey akışı yılda 186,05 milyar metreküp, ortalama yüksekliği 1131 m için 430 milyar kWh olarak tahmin edilmiştir.

Teknik potansiyel var olan teknoloji ile değerlendirilebilecek maksimum potansiyele denir. Brüt potansiyelin bir fonksiyonudur ve çoğunlukla onun yüzdesi olarak ifade edilir. Teknolojiye bağlı olarak brüt potansiyelden aşağıdaki kayıpların çıkarılmasıyla elde edilir (Öziş, 1991).

1. Düşümdeki kayıplar: Hidroelektrik santrallerde net düşümün brüt düşüme oranı, bazı alçak düşümlü nehir santrallerinde 0.5; yüksek düşümlü çevirme santrallerinde 0.9 mertebesine kadar değerler almaktadır. Yaklaşık hesaplarda 0.7 alınması uygundur.

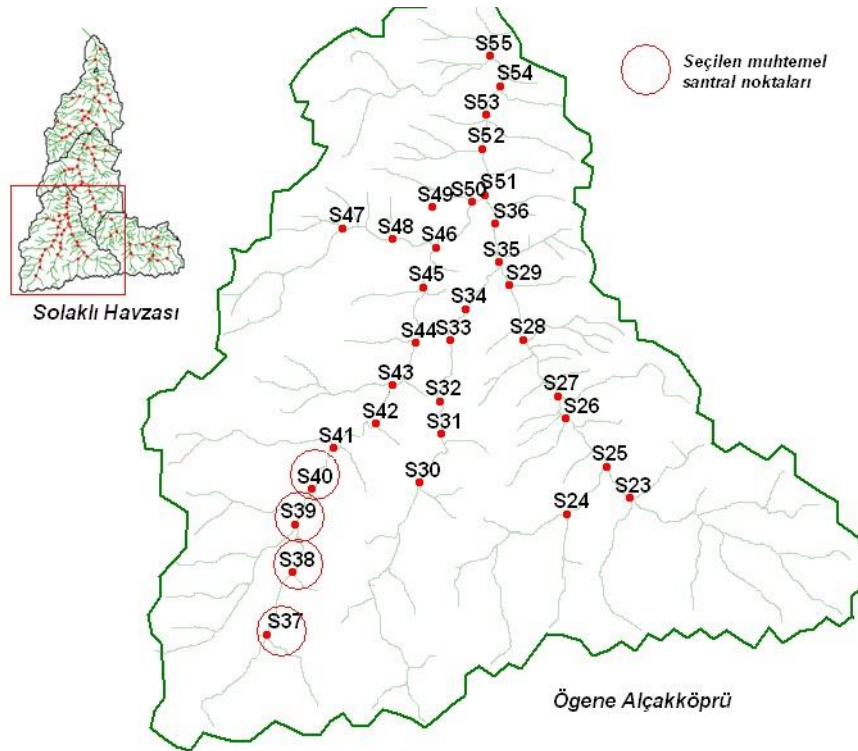
2. Debideki kayıplar: Türbinden geçen debiyle, nehir debisi aynı olmayıp ikisi arasında tesis tipine göre kayıplar vardır. Yaklaşık hesaplarda 0.9 alınması uygundur.

3. Enerji dönüşümündeki kayıplar: Türbin mekanik verimi, hidrolik verimi, jeneratör verimi ve transformatör verimi nedeniyle bir potansiyel kaybı olacaktır. Bu kayıpların toplam etkisinin yaklaşık hesaplarda 0.8 alınması uygundur.

Teknolojik sebeplerden kaynaklanan bu üç kaybın toplam etkisi $0.7 * 0.9 * 0.8 = 0.5$ mertebesindedir. Dolayısıyla teknik potansiyel, yaklaşık olarak brüt potansiyelin yarısı kadardır (Erkek ve Ağırlioğlu, 2006).

DSİ'den resmi sitesinde yayınlanan bilgiye göre, Türkiye'nin teknik hidroelektrik potansiyeli 216 milyar kWh/yıl olarak tahmin edilmektedir.

Ekonomik su kuvveti potansiyeli, gerek teknik açıdan geliştirilebilmesi mümkün, gerekse ekonomik yönden tutarlı olan tüm hidroelektrik projelerin toplam üretimi olarak tanımlanabilir. Bir başka deyişle ekonomik hidroelektrik potansiyel, beklenen faydaları (gelirleri), masraflarından (giderlerinden) fazla olan santral projelerinin toplam hidroelektrik enerji üretimini göstermektedir. Ekonomik hidroelektrik potansiyel üretilecek hidroelektrik enerjiden, alternatif enerji kaynaklarına göre (genellikle ithal kömüre dayalı termik santral) ekonomik analiz yapılarak belirlenir. DSI verilerine göre, Türkiye'nin ekonomik hidroelektrik potansiyeli günümüzde 130 milyar kWh/yıl olarak alınmaktadır .



Şekil 3.26: Hidroelektrik potansiyelin hesaplandığı noktalar kırmızı daire içinde gösterilmiştir.

Şekil 3.26 ile gösterilen seçilmiş noktalara ait yıllık ortalama yağış değerleri CBS ortamında daha önce istasyon noktalarına uygulanan yöntemle elde edilmiştir. Aynı yöntemle bu noktalara ait su toplama havza alanları ve ortalama yükseklikleri daha önce belirlenen 3.16 nolu denkleme yerleştirilerek her bir nokta için akım değerleri elde edilmiştir. Elde edilen bu değerler 3.17 nolu su gücü denklemine yerleştirilerek her noktaya ait brüt hidroelektrik potansiyel değerleri kW biriminde elde edilmiştir.

$$P = 8 * Q * H_n \quad (3.17)$$

Burada

P = Su gücü (kW)

Q = Debi (m³/s)

H_n = Net Düşüm Yüksekliği (m)

Elde edilen tüm değerler Çizelge 3.11’de gösterilmektedir.

Çizelge 3.11: Muhtemel noktalara ait brüt hidroelektrik potansiyel parametreleri.

Muhtemel Nokta	P(mm)	A(km²)	H(m)	Q(m³/s)	N(kW)
S37	948,0	13,3	2040,0	1,4	1358,1
S38	947,4	17,1	1920,0	1,9	1747,9
S39	926,7	29,9	1805,8	2,9	1533,2
S40	918,6	36,2	1740,0	3,5	5660,6

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışma ile Solaklı Havzası gibi akım ölçümleri az olan akarsu havzaları için akım ve hidroelektrik potansiyelin belirlenmesinde çeşitli metotlar kullanılmıştır. UA yöntemleri ve CBS kullanılarak hidroelektrik potansiyel parametreleri; çevre, alan, minimum, maksimum ve ortalama yükseklik gibi topografik parametreler, eğim ve bakı gibi fiziksel parametreler, yağış ve sıcaklık gibi hidrometeorolojik parametreler ve arazi kullanım bilgisi tespit edilmiştir. Öncelikli olarak havzanın fiziksel parametreleri belirlenmiş, ardından noktasal yağış verisinden alansal yağış verisi elde edilerek hidrometeorolojik parametreler elde edilmiş ve son olarak oluşturulan hidrolojik model ile ortalama alansal akım verileri elde edilerek su gücü denklemi ile hidroelektrik güç bilgileri elde edilmiştir.

Çalışılan arazinin yükseklik, eğim, bakı gibi fiziksel ve topografik özelliklerinin uydu verileri ile oluşturulan SYM kullanılarak elde edilebildiği, bu veriler ile CBS ortamında havza sınırları ve drenaj ağı bilgisin oluşturulabildiği, tüm bu veriler ile meteorolojik verilerin CBS ortamında bütünsel olarak değerlendirilmesiyle havzaya ait hidroelektrik potansiyelin hesaplanabileceği görülmüştür.

UA ve CBS teknolojileri kullanılarak HES projelerinin elektrik potansiyelinin yüksek doğrulukla belirlenmesi için gerekli havza karakteristikleri (eğim, alan, suyun (derenin) çizgisel uzunluğu, v.b.) hızlı ve ekonomik olarak sağlanabilmektedir.

Çoklu regresyon denklemlerinin, Türkiye’de sıklıkla uygulama alanı bulan havza alan oranı yöntemine göre daha doğru sonuçlar verdiği düşünülmektedir. Çünkü havza alan oranı yönteminde yağışın havza üzerinde üniform dağıldığı ve yine havza üzerinde yağıştan akışa geçen oranın da değişmediği kabul edilmektedir. Oysa bu kabul doğada gerçekleşmesi hemen hemen mümkün olmayan bir kabuldür. Ancak çok basit olması ve Türkiye gibi ülkelerde onun yerini tutacak alternatif kolay uygulanabilir bir çözümün bulunmaması nedeniyle uygulamada tercih edilmektedir.

Solaklı havzası için çıkarılan akım denklemlerinde ise yalnızca akım ve alan değil, yağış ve yükseklik gibi parametreler de dikkate alınarak daha ayrıntılı bir model

oluşturulmuştur. Bununla birlikte debi süreklilik eğrisi denklemlerinde yine havzaya ait yükseklik, eğim gibi parametrelerin kullanılmasının yanında yağış değerleri de noktasal olmaktan çıkarılıp yayılı hale getirilmiştir.

AGİ'ler ile YGİ'ler aynı noktada bulunmadıkları için yağış-akış modellerinde yağışın nokta ölçeğinden çıkarılıp alan ölçeğine yayılması daha uygundur. Bu amaçla eşyağış eğrilerinin hazırlanması gerekmektedir.

Bu çalışmada eşyağış haritaları çizilirken en uygun yöntemlerin kullanılmasına dikkat edilmiştir. Ayrıca herhangi bir noktadaki bilinmeyen yağış değeri de bu sayede belirlenebilmiştir. Daha önceki çalışmada (Algancı, 2008) eşyağış haritalarının oluşturulmasında 11 yağış gözlem istasyonu kullanılmışken bu çalışmada istasyon sayısı 29'a çıkarılarak kullanılan veri sayısı arttırılmıştır. Böylece çalışma alanı daha homojen bir şekilde temsil edilmiştir.

Eşyağış eğrilerinin oluşturulmasında karşılaştırmalı yöntemler kullanılarak her ay ve yıllık değerler için en az hatayı veren jeostatistiksel yöntemin seçilmesi akımın daha yüksek doğrulukta tespit edilmesini sağlamıştır. CBS ortamında eşyağış haritalarının elde edimesinde kullanılan yöntemin daha önce yapılmış çalışmalara göre daha pratik, uygulanabilir ve daha kısa sürede tamamlanabilmesiyle daha kullanışlı olduğu belirlenmiştir. Böylelikle daha önceki çalışmalara göre ek alt havzaların da akım durumu incelenebilmiş ve elde edilen sonuçlara göre Alçakköprü, Solaklı ve Haldizen AGİ'leri için Çizelge 3.10 ile verilen rölatif hata değerleri elde edilmiştir.

Yağış ölçümü olmayan herhangi bir noktanın yağış değerine ulaşmayı sağlayan Eşyağış haritaları kullanılarak daha önceden drenaj ağı üzerinde gelişigüzel seçilmiş muhtemel noktaların akım değerlerine gidilmiş, kot ve akım değeri kullanılarak su gücü değerleri hesaplanmıştır.

Daha sonraki çalışmalar için, alt havza sayısı arttırılarak daha çok veri kullanan modeller geliştirilebilir. Böylelikle, akım ölçümü az ya da hiç olmayan havzaların modellemeleri daha doğru hale getirilebilir.

KAYNAKLAR

- Ackermann, F.**, 1984: Digital image correlation: performance and potential application in photogrammetry. *Photogrammetric Record*, 11 (64), 429– 439.
- Ağralıoğlu, N., Eriş, E., Algancı, U., Toprak, Z. F., Yılmaz, L., Cıgızoğlu, K. H., Coşkun, G. H., Andiç, G.**, 2008: Akım Ölçümü Az Olan Havzalarda Hidroelektrik Potansiyelin Belirlenmesi: Doğu Karadeniz Bölgesi, 5. Dünya Su Forumu Bölgesel Hazırlık Süreci, Türkiye Bölgesel Su Toplantısı, Su ve Enerji Konferansı, Artvin, Bildiriler Kitabı II: 1-32.
- Algancı, U.**, 2008: Akarsu Havzalarında Hidroelektrik Potansiyel Parametrelerinin Uzaktan Algılama ve CBS ile Belirlenmesi, (Yüksek Lisans Tezi), İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Aslan, Y., Yaşar, C., Karabörk, M. Ç.**, 2004: Bir Mikro-Hidro Örneği: Kayaboğazı Barajı, ELECO'2004 Elektrik - Elektronik - Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu ve Fuarı Bildirileri, Poster Bildiri.
- Beven, K. J., Hornberger, G. M.**, 1982: Assessing the Effect of Spatial Pattern of Precipitation in Modeling Stream Flow Hydrographs, *Water Resour. Bull.*, 18(5), 823-829.
- Boughton, W., and Chiew, F.**, 2007: Estimating Runoff in Ungauged Catchments from Rainfall, PET and the AWBM Model, *Environmental Modelling & Software*, 22, 476-487.
- Campling, P., Gobin A, Feyen J.**, 2001: Temporal and Spatial Rainfall Analysis Across a Humid Tropical Catchment, *Hydrol Process*, 15, 359–375.
- Cheng, Q., Ko, C., Yuan, Y., Ge, Y., Zhang, S.**, 2006: GIS Modeling for predicting river runoff volume in ungauged drainages in Greater Toronto Area, Canada, *Computers and Geosciences*, 32:1108-1119.
- Coskun, H.G., Algancı, U.**, 2006: Küçükçekmece Sularında ve Su Havzasında Zamana Bağlı Yerleşim ve Su Kalitesi Analizinin Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemi ile Modellenmesi. I. Uzaktan Algılama CBS Çalıştay ve Paneli, 27 -29 Kasım, İTÜ Ayazağa Kampüsü, İstanbul.
- Daly, C., Neilson, R. P., Phillips, D. L.**, 1994: A Statistical-Topographic Model for Mapping Climatological Precipitation Over Mountainous Terrain, *Journal of Applied Meteorology*, 33, 140-158.
- Dawdy, D. R., Bergmann, J. M.**, 1969: Effect of Rainfall Variability on Streamflow Simulation, *Water Resour. Res.*, 5, 958-966.
- Delfiner P., Delhomme J. P.**, 1973: Optimum Interpolation by Kriging, Display and Analysis of Spatial Data, ed: Davis J. C., McCullagh M. J., Nato Advanced Study Institute, John Wiley and Sons, London.

- Djokic, D.**, 2000: Hydrologic and Hydraulic Modeling Support with Geographic Information Systems. Redlands Calif.:Esri Press.
- DSİ**, 2009: www.dsi.gov.tr, erişim Temmuz 2009.
- Dudhani, S., Sinha, A. K., Inamdar, S. S.**, 2006: Assessment of small hydropower potential using remote sensing data for sustainable development in India, *Energy Policy*, 34:3195-3205.
- Ehlers, M., Welch, R.**, 1987: Stereocorrelation of Landsat TM images, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 53 (9), 1231–1237
- Engman, E. T., Gurney, R. J.**, 1991: *Remote Sensing in Hydrology*, Chapman and Hall, London.
- Erkek, C., Ağırlioğlu, N.**, 2006: *Su Kaynakları Mühendisliği*, Beta Yayınevi, İstanbul.
- ESRI**, 2008: ArcGIS Tutorials, *Geostatistical Wizard Module*.
- Goovaerts, P.**, 1999: Performance Comparison of Geostatistical Algorithms for Incorporating Elevation into the Mapping of Precipitation, *Geocomputation* 99, USA, http://www.geovista.psu.edu/sites/geocomp99/Gc99/023/gc_023.htm., Erişim Mart 2008.
- Goovaerts, P.**, 2000: Geostatistical Approaches for Incorporating Elevation into the Spatial Interpolation of Rainfall, *J Hydrol.*, 228, 113–129.
- Inal, C, Yigit, C. O.**, 2003: Jeodezik Uygulamalarda Kriging Enterpolasyon Yönteminin Kullanılabilirliği, TUJK Yılı Bilimsel Toplantısı, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı, Konya, Poster Bildiri.
- Karnieli, A.**, 1990: Application of Kriging Technique to Areal Precipitation Mapping in Arizona, *GeoJornal*, 22(4), 391-398.
- Kok, A.L., Blais, J.A.R., Rangayyan, R.M.**, 1987: Filtering of digitally correlated Gestalt elevation data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 53 (5), 535– 538.
- Kumar, A., Singhal, M. K.**, 1999: Hydropower assessment for small ungauged catchments in Himalayan region using GIS techniques, Workshop on GIS Applications in Power Sector, Map India.
- Kumar, A.**, 2006: Cartosat –1 (IRS –P5) Stereo Data Processing – A Case Study of DehradunArea.www.gisdevelopment.net/proceedings/mapindia/2006/.
- Lang, H., Welch, R.**, 1999: Algorithm Theoretical Basis Document for ASTER Digital Elevation Models, Version 3.0 Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA. 69 pp.
- Lebel T, Bastin G, Obled C, Creutin J. D.**, 1987: On the Accuracy of Areal Rainfall Estimation: a Case Study. *Water Resour Res*, 23(11), 2123–2134.
- Lloyd, C. D.**, 2005: Assessing the Effect of Integrating Elevation Data Into the Estimation of Monthly Precipitation in Great Britain. *J Hydrol* 308, 128–150.

- Melesse, A.M.**, 2002: Spatially Distributed Storm Runoff Modeling Using Remote Sensing and Geographic Information Systems, *Ph.D. Dissertation*, University of Florida, Gainesville.
- Mwakalila, S.**, 2003: Estimation of stream flows of ungauged catchments for river basin management, *Physics and Chemistry of the Earth*, 28:935–942.
- Öziş, Ü.**, 1991: *Su Kuvveti Tesislerinin Planlama Esasları*, DEÜ Mühendislik Mimarlık Fakültesi Basım Ünitesi, İzmir,
- Özdemir, H.**, 2007: Havran Çayı Havzasının CBS ve Uzaktan Algılama Yöntemleriyle Taşkın ve Heyelan Risk Analizi, *Doktora Tezi*, İ.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Paish, O.**, 2002: Small Hydro Power: Technology and Current Status, *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 6(6), 537-556.
- Russo, M. M.**, 2004: Extreme Precipitation Events in East Baton Rouge Parish: an Areal Rainfall Frequency/Magnitude Analysis, (Master Thesis), Graduate Faculty of the Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College.
- Saveliev, A. A, Mucharamova, S. S., Piliugin, G. A.**, 1998: Modeling of the Daily Rainfall Values Using Surface Under Tension and Kriging., *J. Geogr. Inf. Decis. Anal.*, 22, 52–64.
- Shiqiang, Z., Yongjian, D., Shiyin L., Zhang, X.**, 2005: Comparing hydrological characters of ungauged area via RS, GIS and observation, *International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 2005, Vol 6, p. 4461
- Shrestha,R., Takara, K, Tachikawa, Y., and Jha, R., N.**, 2004: Water resources assessment in a poorly gauged mountainous catchment using a geographical information system and remote sensing, *Hydrol. Process.*,18, 3061–3079.
- Singh, V.P.**, 1996: *Hydrologic Modeling with GIS*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Tabios III, G. Q., Salas, J. D.**, 1985: A Comparative Analysis of Techniques for Spatial Interpolation of Precipitation, *Water Resources Bulletin*, 21(3), 265–380.
- Trabzon Valiliği İl Çevre ve Orman Müdürlüğü**, 2004: Trabzon İl Çevre Durum Raporu, Trabzon.
- Vandewiele, G. L., Elias, A.**, 1995: Monthly Water Balance of Ungauged Catchments Obtained by Geographical Regionalization, *Journal of Hydrology*, 170, 277-291.
- Wilson, C. B., Valdes, J. B., Rodriguez-Irturbe, I.**, 1979: On the influence of the spatial distribution of rainfall on storm runoff, *Water Resour. Res.*, 15, 321-328.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Sezel Karayusufoğlu

Doğum Yeri ve Tarihi: Razgrad, 21.11.1985

Adres: Güzelkent Sitesi Saydam Sk. No: 53 Büyükçekmece İstanbul

Lisans Üniversitesi: İstanbul Teknik Üniversitesi, Meteoroloji Mühendisliği

Yayın Listesi:

Coskun H.G., **Karayusufoğlu S.**, Eris E., Alganci U., 2010: Estimation of Hydraulic Modeling Parameters of Poorly Gauged Basins Using Remote Sensing and GIS. *International Conference on WATER RESOURCES, HYDRAULICS & HYDROLOGY*, February 23-25, 2010 Cambridge, UK.